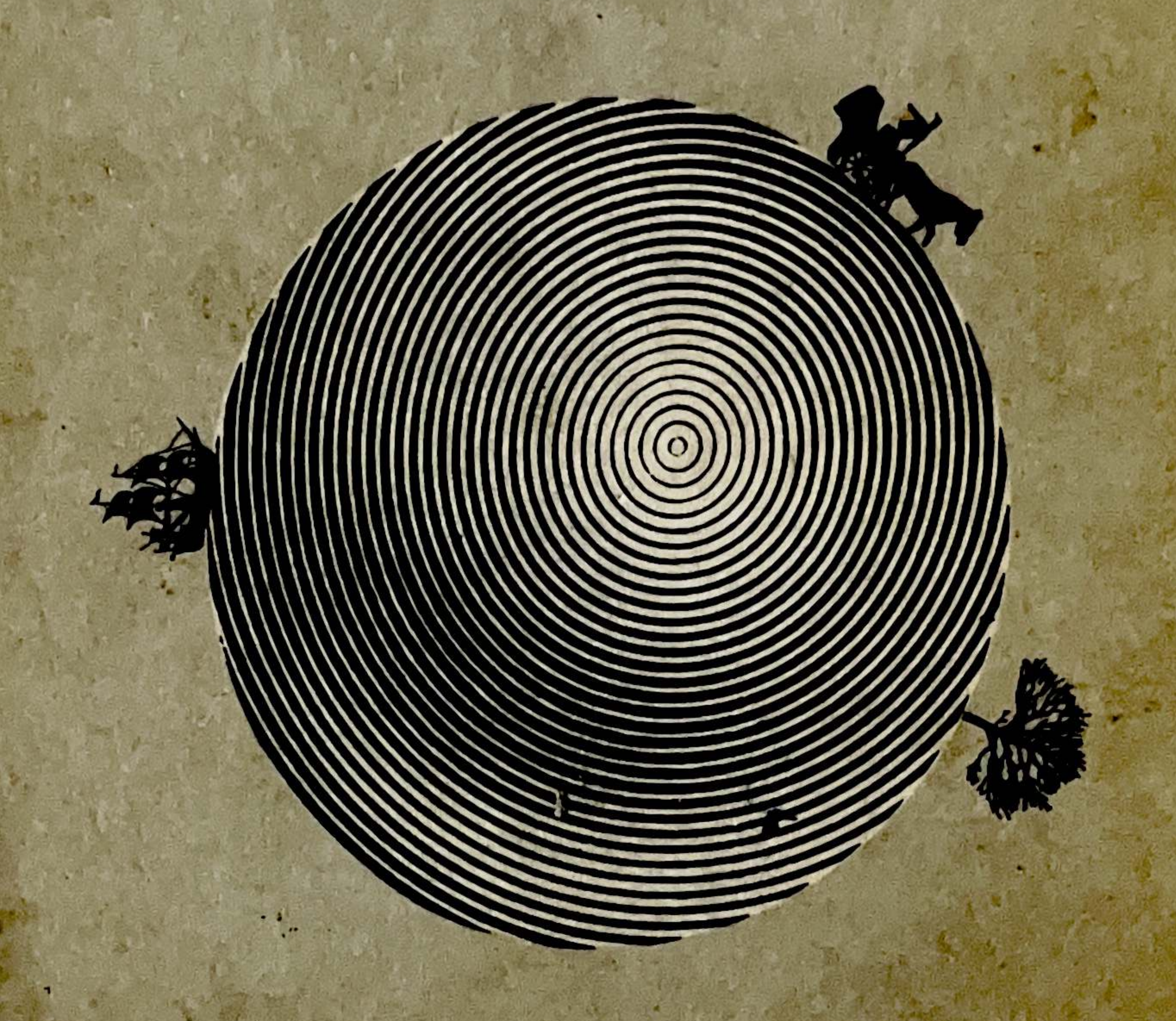
ل. لانداو
يو. رومر

ما هي نظرية النسبية



دار «مير» للطباعة والنشر

ل. لانداو

يو. رومر



الطبعة السادسة



دار «مير» للطباعة والنشر

Л. Ландау

Ю. Румер

ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Москва «Советская Россия»

На арабском языке

الطبعة الأولى عام ١٩٦٦

الطبعة الثانية عام ١٩٦٩

الطبعة الثالثة عام ١٩٧٤

الطبعة الرابعة عام ١٩٧٨

الطبعة الخامسة عام ١٩٨٣

الطبعة السادسة عام ١٩٨٦

نبذة

يعتبر هذا الكتاب محاولة موفقة ، لعرض مبادئ نظرية النسبية الخاصة التى وضعها ألبرت أينشتاين .

ولقد أوضح مؤلفا الكتاب ، ان المفاهيم التى تعتبر راسخة ، كالزمن والفراغ والكتلة ، هى فى الواقع متغيرة الخواص . فالزمن ، مثلا فى صاروخ كونى ، يمضى أبطأ من مضيه على الأرض – ففى الوقت الذى تمر فيه على الأرض مئات السنين ، لا يمر على الصاروخ سوى بضع سنوات فقط .

ويمتاز هذا الكتاب بخلوه من المعادلات المعقدة وببساطة العرض وبعده عن التجريد ، مما يجعله فى متناول فهم القارئ العادى غير المتخصص .

مؤلفا هذا الكتاب هما عضو أكاديمية العلوم الدكتور لانداو وأستاذ الفيزياء الدكتور يورى رومر . وللدكتور لانداو العديد من الأبحاث فى شتى فروع الفيزياء النظرية مما أهله للحصول على جائزتى نوبل ولينين فى العلوم كما حصل على جائزة الدولة فى الفيزياء . ولقد اشتهر الدكتور رومر بأبحاثه فى مجالى الفيزياء الاشعاعية والأشعة الكونية .

النسبية التى تعودنا عليها

هل لكل عبارة معنى ؟

من الواضح أنه ليس كذلك ، فحتى اذا أخذنا كلمات ذات معنى وربطناها ببعضها مع مراعاة قواعد النحو مراعاة تامة ، فاننا قد لا نحصل الا على هراء ، فمن الصعب مثلا إضفاء أى معنى على العبارة التالية : «هذه المياه مثلثة» .

ولكن للأسف ، ليس كل هراء على هذه الدرجة من الوضوح ، وكثيرا ما تبدو العبارة للوهلة الأولى معقولة جدا ، ولكن مع التحليل الدقيق ، يتضح انها سخيفة للغاية .



على أى جانب من الطريق – الأيمن أم الأيسر – يقع البيت ؟ الاجابة المباشرة على هذا السؤال مستحيلة .

لو مشينا من الجسر الى الغابة ، فان البيت سيقع على الجانب الأيسر ، ولو مشينا بالعكس من الغابة الى الجسر ، فانه سيقع على الجانب الأيمن .

فمن الواضح أنه لا يمكن التحدث عن الجانب الأيمن او الأيسر للطريق دون أن نأخذ فى الاعتبار الاتجاه الذى نعين بالنسبة اليه اليمين واليسار .

وعندما نتحدث عن الشاطئ الايمن للنهر ، يكون لحديثنا معنى ، وذلك لان مجرى الماء يحدد اتجاه النهر . وكذلك ، فالقول بأن السيارات تتحرك على اليمين ، ممكن فقط لأن اتجاه حركة السيارة يميز أحد اتجاهى الطريق .

وهكذا ، فان مفهومى « يمينا » و « يسارا » ، مفهومان نسبيان ، يأخذان معنى فقط ، بعد تحديد الاتجاه الذى يعينان بالنسبة اليه .



الآن ، نهار ام ليل ؟

ان الاجابة تعتمد على المكان الذى يطرح فيه السؤال ، فعندما يكون فى موسكو نهار يكون فى مدينة فلاديفستوك ليل ، ولا يوجد هنا اى تعارض ، فان النهار والليل مفهومان نسبيان ، ولا يمكن الاجابة على السؤال المطروح دون ان نوضح بالنسبة لاية نقطة على سطح الكرة الارضية يجرى الحديث .

ايهما اكبر من الآخر ؟

ان الراعى فى الصورة اليمنى الموجودة أسفل الصفحة اكبر من البقرة ، أما فى الصورة اليسرى فالبقرة أكبر من الراعى ، وهنا ايضا لا يوجد اى تعارض ، كل ما هناك ان هاتين الصورتين ، التقطهما مشاهدان من نقطتين مختلفتين ، اذ وقف الأول أقرب الى الراعى ووقف الثانى أقرب الى البقرة . فليس المهم عند



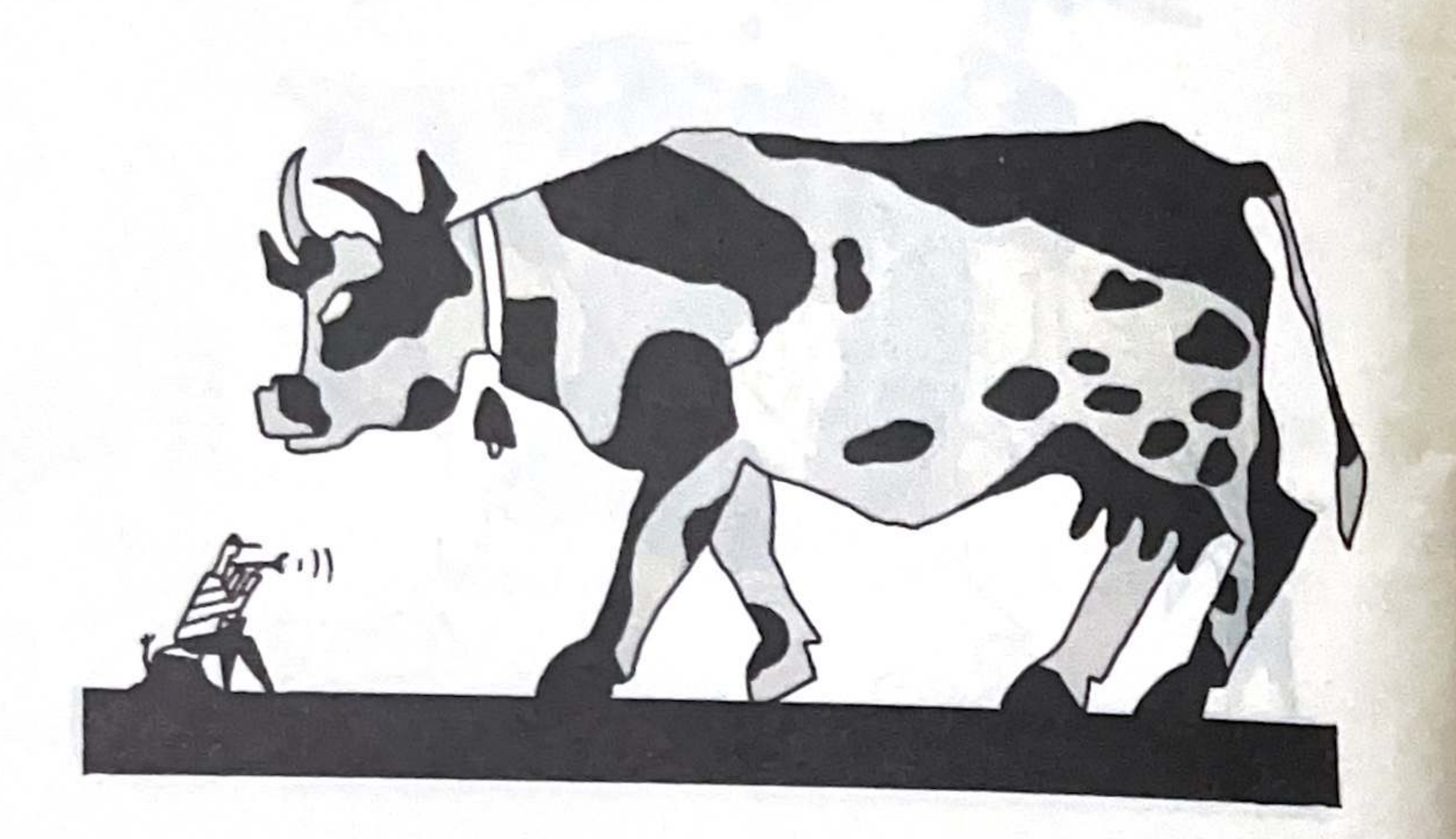
الرسم الأبعاد الحقيقية للاشياء ولكن المهم هو زوايا ابصارها * . والأبعاد الزاوية للاشياء كما هو واضح ، هى أبعاد نسبية .

ويكون الحديث عن الأبعاد الزاوية للاشياء عديم المعنى ، ما لم نوضح من أية نقطة فى الفراغ تجرى المشاهدة . مثلا ، ان القول بان زاوية ابصار البرج ٤٥° ، يعنى بالضبط أننا لم نقل شيئا ، ولكن على العكس ، القول بان زاوية ابصار البرج من نقطة تبعد عنه ١٥ مترا ، هى ٤٥° هو قول له معنى ، وينتج من هذا القول مثلا أن ارتفاع البرج يساوى ١٥ مترا .

النسبى يبدو مطلقا

لو ازيحت نقطة الرصد ازاحة طفيفة ، فان الأبعاد الزاوية تتغير أيضا تغيرا طفيفا ، لذلك فان القياس الزاوى يستخدم عادة فى علم الفلك ، فتوضح

* زاوية إبصار شىء ما هى الزاوية التى يصنعها الشعاعان الضوئيان الواصلان من العين الراصدة الى النقطتين الطرفيتين للشىء موضع الرصد .



على الخريطة الفلكية ، المسافات الزاوية بين النجوم ، اى زوايا ابصار المسافات التى تفصل بين النجوم المختلفة اذا رصدت من سطح الارض .

والمعروف أننا مهما تحركنا على سطح الارض ، ورصدنا النجوم من أية نقطة على الكرة الارضية ، فاننا سنرى دائما ، ان المسافات التى تفصل النجوم عن بعضها ، تبقى ثابتة ، وهذا يفسر بأن النجوم تبعد عنا بمسافات شاسعة يصعب تخيلها ، بحيث يكون انتقالنا على سطح الارض بالمقارنة معها ، غير محسوس ، ويمكن اهماله . لذلك يمكننا اعتبار المسافات الزاوية فى هذه الحالة ، بمثابة قياسات مطلقة .

ولكن مع دوران الارض حول الشمس ، يصبح التغير فى هذه القياسات ملحوظا رغم ضآلته . أما اذا نقلنا نقطة الرصد الى أى من النجوم ، مثلا ، الى نجمة « الشعرى اليمانية » ، فان كل هذه القياسات الزاوية تتغير بشكل يمكن معه ان يصبح النجمان البعيدان أحدهما عن الآخر فى سمائنا ، قريبين وبالعكس .

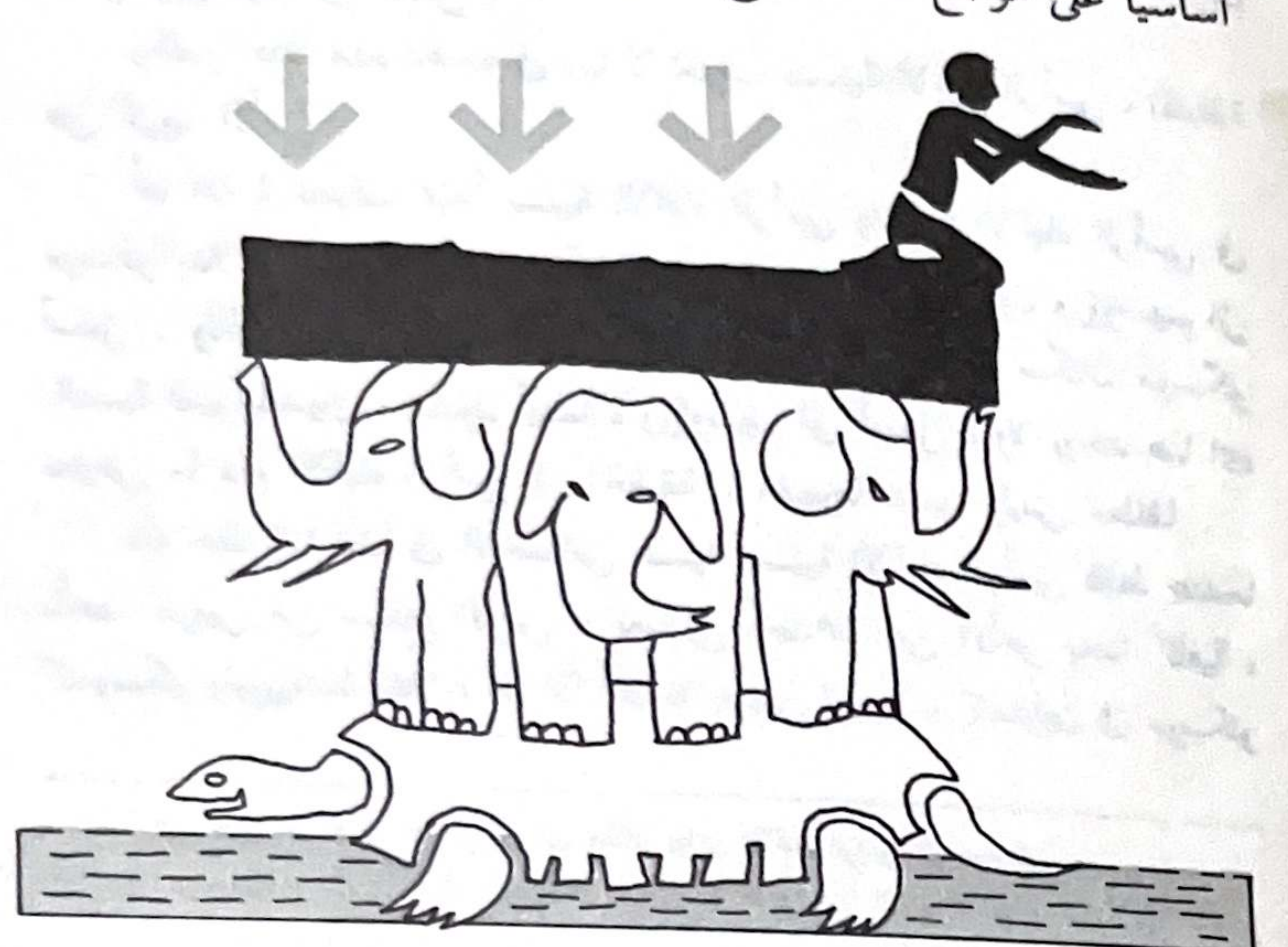


كثيرا ما نقول : أعلى ، أسفل . هل هذان المفهومان مطلقان أم نسبيان ؟

لقد أجاب الناس على هذا السؤال فى العصور المختلفة ، إجابات مختلفة . عندما لم يعرفوا بعد أى شىء عن كروية الأرض ، وتخيلوها مستوية كالرقاقة ، اعتبروا الاتجاه الرأسى مفهوما مطلقا . وهنا افترضوا أن الاتجاه الرأسى لا يتغير ، فى جميع نقاط سطح الأرض ، وأنه من الطبيعى جدا الحديث عن الـ (اعلى) المطلق والـ (اسفل) المطلق .

ولكن الاتجاه الرأسى تغيّر فى نظر الناس ، عندما اكتشفت كروية الأرض .

فى الواقع ، عند الشكل الكروى للأرض يعتمد الاتجاه الرأسى اعتمادا أساسيا على موضع نقطة سطح الأرض التى يمر بها .



ففى نقاط سطح الأرض المختلفة ، تختلف الاتجاهات الرأسية . وما دام مفهوم الأعلى والأسفل يفقد معناه ، ما لم نوضح الى اية نقطة من نقاط سطح الأرض ينتسب ، فان هذا المفهوم قد تحول من مطلق الى نسبى . ولا يوجد فى الكون اتجاه رأسى موحد ، لذلك يمكن بالنسبة الى أى اتجاه فى الفراغ تعيين نقطة على سطح الارض ، يكون عندها هذا الاتجاه رأسيا .

«العقل السليم» يحاول الاحتجاج

كل هذا يبدو لنا الآن واضحا ولا يثير أى شك ولو ان التاريخ يشهد على أن البشرية لم تفهم نسبية الـ (أعلى) و الـ (أسفل) بهذه السهولة . فالناس يميلون لاعتبار المفاهيم مطلقة ، ما لم تكن نسبيتها واضحة من الخبرة اليومية (كما فى حالة « يمينا » و « ويسارا ») . ولنتذكر الاعتراض المضحك على كروية الأرض ، الذى كان سائدا فى العصور الوسطى : كيف اذن سيمشى الناس ورؤوسهم الى أسفل ؟

يكمن خطأ هذه الحجة فى أنها لا تعترف بنسبية الاتجاه الرأسى ، المنبثقة عن كروية الأرض .

أما اذا لم نعترف بمبدأ نسبية الاتجاه الرأسى واعتبرنا الاتجاه الرأسى فى موسكو مثلا ، مطلقا * ، فان سكان نيوزيلندة بلا شك يمشون ورؤوسهم الى أسفل . ولكن اذا كان الأمر كذلك فيجب الا ننسى ان سكان موسكو بالنسبة للنيوزيلنديين ، يمشون أيضا ، ورؤوسهم الى أسفل ، ولا يوجد هنا اى تعارض ما دام الاتجاه الرأسى فى الحقيقة ، مفهوما نسبيا وليس مطلقا .

ونلاحظ اننا نبدأ فى الاحساس عمليا بنسبية الاتجاه الرأسى فقط عندما نأخذ جزءين من سطح الأرض ، بعيدين أحدهما عن الآخر بعدا كافيا ، كموسكو ونيوزيلندة مثلا ، أما اذا أخذنا جزءين قريبين ، كمنزلين فى موسكو

* اى اعتبرنا ان الاتجاه الرأسى فى اى مكان يوازى الاتجاه الرأسى فى موسكو .

مثلا ، فاننا عمليا يمكن أن نعتبر أن الاتجاهين الرأسيين متوازيان ، أى نعتبر الاتجاه الرأسى مطلقا .

وفقط عندما يجرى الحديث عن أجزاء يمكن مقارنة مساحتها مع المساحة الكلية لسطح الأرض فان محاولة استخدام المفهوم المطلق للاتجاه الرأسى ، تؤدى الى هراء وتناقضات .

ان الامثلة التى بحثناها توضح أن كثيرا من المفاهيم التى نستخدمها ، هى مفاهيم نسبية ، أى يصبح لها معنى فقط ، عندما نوضح الشروط التى تجرى بموجبها المراقبة .

الفصل الثانى

للفراغ مفهوم نسبى

نفس المكان ام لا ؟

غالبا ما نقول ان حادثتين ما ، وقعتا فى نفس المكان ، واعتدنا أن نقصد بهذا القول معنى مطلقا ، ولكنه فى الواقع لا يعنى شيئا ، بالضبط كما لو قلنا : « الآن الساعة الخامسة » دون ان نوضح المكان على وجه التحديد ، فى موسكو أم فى شيكاغو .

ولكى نفهم ذلك نفترض أن مسافرتين بالقطار السريع موسكو – فلاديفوستوك ، اتفقتا على أن تلتقيا كل يوم فى نفس المكان من إحدى عربات القطار ، وتكتب كل واحدة منهما خطابا الى زوجها . على اغلب الظن لن يوافق الزوجان على أن زوجتيهما تلتقيان فى نفس المكان . على العكس ان عندهما كل الحق فى التأكيد بان اماكن الالتقاء هذه يبعد أحدها عن الآخر مئات الكيلومترات . فهما قد تسلما خطابين من مدينة ياروسلافل وخطابين من بيرم وآخرين من سفردلوفسك وغيرهما من تيومين وكذلك من مدينتى اومسك وخاباروفسك .

وهكذا فان حادثتين – كتابة الخطابات فى اليوم الأول واليوم الثانى من ايام الرحلة – وقعتا فى مكان واحد من وجهة نظر المسافرتين (فى نفس المكان من نفس عربة القطار) اما من وجهة نظر زوجيهما فان مكان وقوع احداهما يبعد عن مكان وقوع الاخرى بمئات الكيلومترات .

أيهما على صواب ؟ المسافرتان ام زوجاهما ؟ ليس لدينا ما يبرر تفضيل احدى وجهتى النظر على الأخرى . لذا يتضح أن لعبارة « فى نفس المكان » معنى نسبيا فقط .

وكذلك فان القول بان نجمين ينطبقان فى السماء يكتسب معنى فقط ، عندما نوضح أن الرصد يجرى من نقطة على سطح الأرض . اذن فالقول بان حادثتين قد انطبقتا فى الفراغ *، ممكن فقط عندما نوضح بالنسبة لأى جسم نعين موقع هاتين الحادثتين .

وهكذا فمفهوم الموضع فى الفراغ ، مفهوم نسبى أيضا ، وعندما نتكلم عن موضع جسم فى الفراغ فاننا دائما نعنى موضعه بالنسبة لأجسام أخرى . أما اذا طلبت الاجابة على السؤال : اين يوجد هذا الجسم أو ذاك ؟ – دون الاشارة الى اجسام أخرى ، فاننا يجب أن نعترف بان مثل هذا السؤال بلا معنى .

كيف يتحرك الجسم فى الواقع ؟

ينتج مما سبق ان مفهوم « انتقال جسم فى الفراغ » هو مفهوم نسبى ايضا ، لاننا اذا قلنا ان جسما انتقل ، فان هذا يعنى فقط أنه غير موضعه بالنسبة الى اجسام اخرى .

واذا راقبنا حركة جسم من مختبرات ** تتحرك بعضها بالنسبة لبعض فان حركة هذا الجسم ستبدو بأشكال مختلفة تماما .

ولنأخذ مثلا الحجر المرمى من طائرة وهى تطير . بالنسبة للطائرة سيسقط الحجر فى خط مستقيم أما بالنسبة لمشاهد على سطح الأرض فان الحجر سيرسم منحنى يعرف بالقطع المكافئ .

ولكن كيف يتحرك الحجر فى الحقيقة ؟

إن لهذا السؤال معنى ضحلا ، كضحالة السؤال عن زاوية إبصار القمر فى الحقيقة ، هل هى زاوية إبصاره عندما نرصده من الشمس أم من الأرض ؟ فالشكل الهندسى للمنحنى الذى يتحرك عليه الجسم ، له صفة نسبية

* حدثتا فى نفس المكان .

** يراد بالمختبر هنا محل المراقبة .



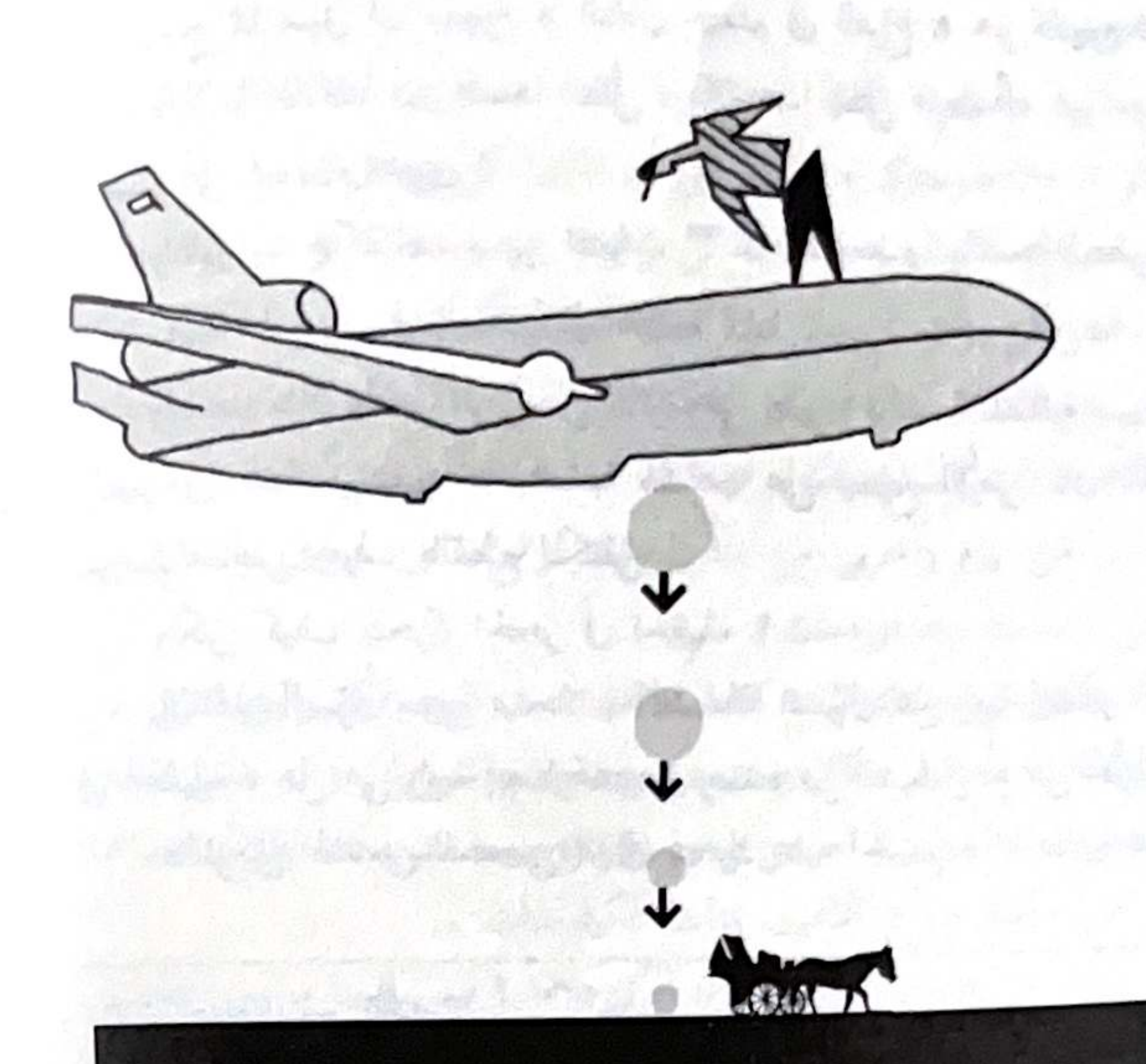
كالصور الفوتوغرافية لمبنى ما ، اذا صورناه من الامام ومن الخلف ، سنحصل على صور مختلفة ، كذلك اذا شاهدنا حركة الجسم من مختبرات مختلفة فاننا سنحصل على المنحنيات المختلفة لحركته .

هل كل وجهات النظر متكافئة ؟

لو حصرنا اهتمامنا عند متابعة حركة جسم فى الفراغ ، فى دراسة مساره (منحنى حركته) لتحدد اختيارنا لمكان الرصد انطلاقا من امكانية الحصول على أسهل وأنسب صورة .

والمصور الماهر عندما يختار زاوية للتصوير يحرص على جمال الصورة وعلى تناسقها .

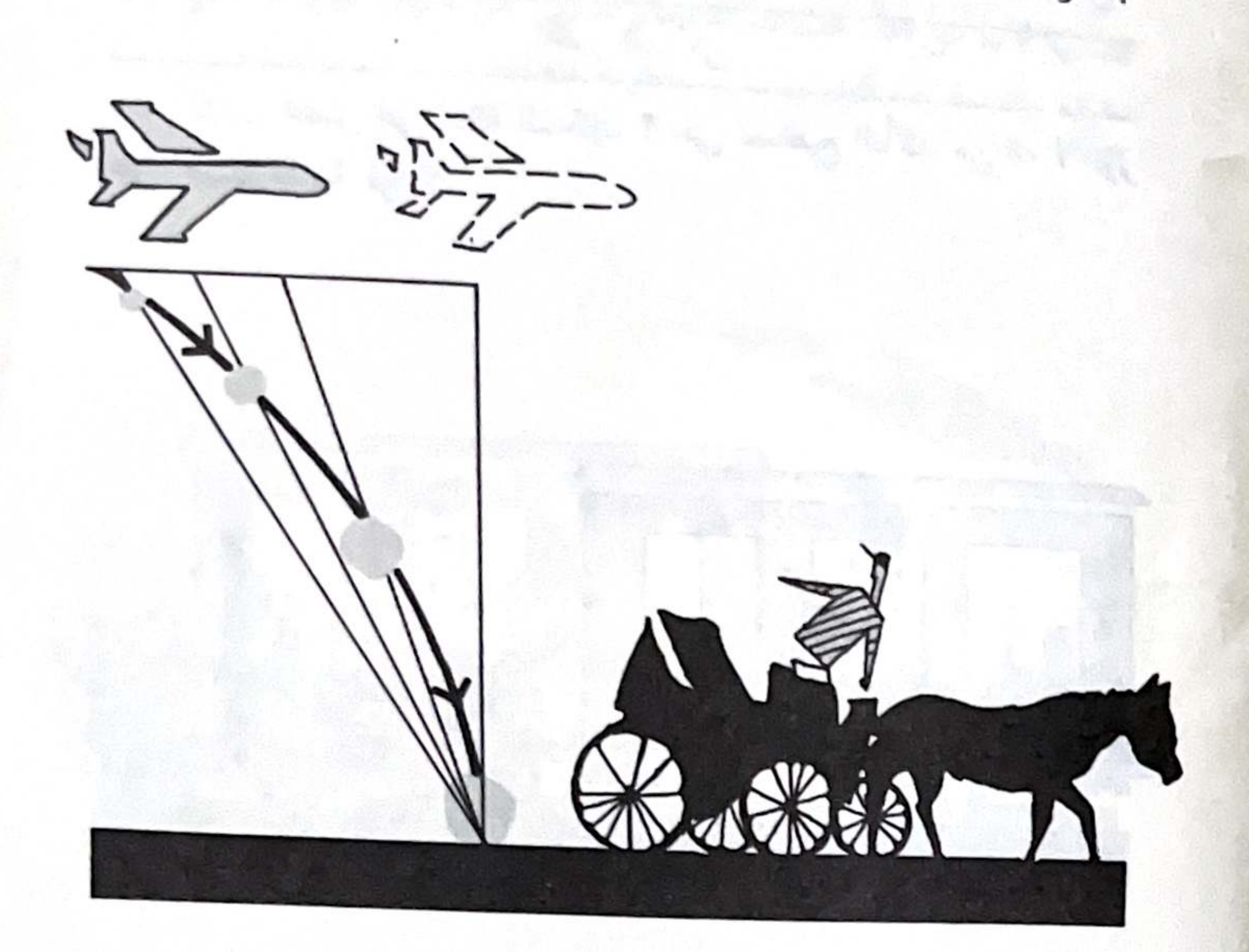
ولكن عند دراسة حركة الاجسام فى الفراغ فان اهتمامنا يتعدى ذلك . اننا



لا نريد فقط معرفة المسار ولكن ايضا التنبؤ بالمسار الذى سيتحرك عليه الجسم . وبكلمات اخرى ، فاننا نريد ان نعرف القوانين المنظمة للحركة ، والقوانين التى تجبر الجسم على ان يتحرك بهذا الشكل بالذات وليس بشكل آخر .

لنتناول مسألة نسبية الحركة من وجهة النظر هذه وسيتضح ان المواضع المختلفة فى الفراغ ليست كلها متكافئة .

اذا ذهبنا إلى المصور لالتقاط صورة فوتوغرافية للبطاقة الشخصية ، فمن الطبيعى ان نرغب فى ان يصورنا من الامام وليس من القفا . بهذه الرغبة بالذات ستتحدد نقطة فى الفراغ يجب على المصور ان يلتقط منها ، واننا سنرفض أى موضع آخر غير هذه النقطة على اساس انه لا يحقق الغرض بالشرط المطلوب .



السكون موجود !

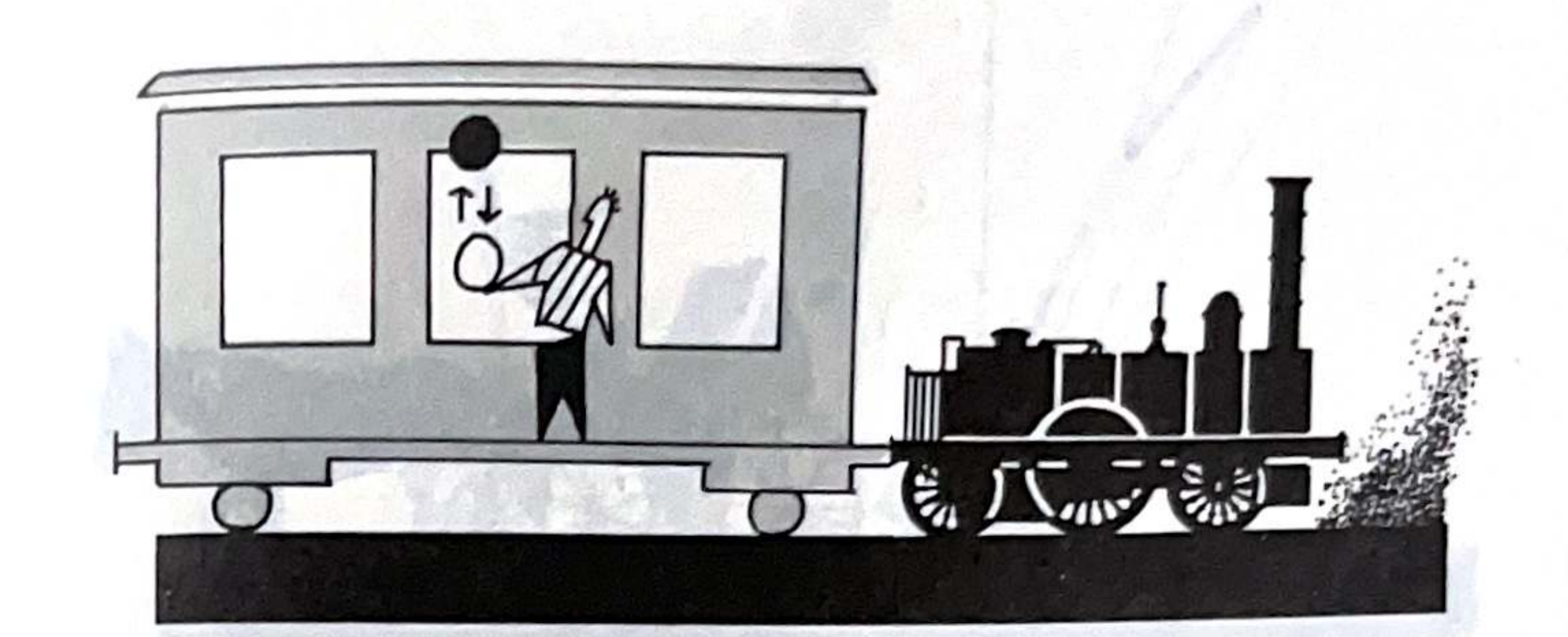
تؤثر على حركة الاجسام مؤثرات خارجية تسمى بالقوى ، ودراسة تأثير هذه القوى تساعدنا على بحث مسألة الحركة بشكل آخر .

لنفترض ان لدينا جسما لا تؤثر عليه اية قوة . سيتحرك الجسم حركة غريبة نوعا ما ، حسب المكان الذى سنراقبه منه ، ولو انه من الصعب ألا نعترف بان أكثر أمكنة المراقبة ملاءمة هو المكان الذى يبدو منه الجسم ساكنا .

بهذا يمكننا ان نعطى الآن للسكون تعريفا جديدا لا يعتمد على حركة الجسم المعطى بالنسبة لاجسام اخرى . وهكذا فالجسم الذى لا تؤثر عليه اية قوة خارجية يوجد فى حالة السكون .

المختبر الساكن

كيف نحصل على حالة السكون ؟ متى نستطيع التأكد من انه لا تؤثر على جسم ما اية قوة ؟



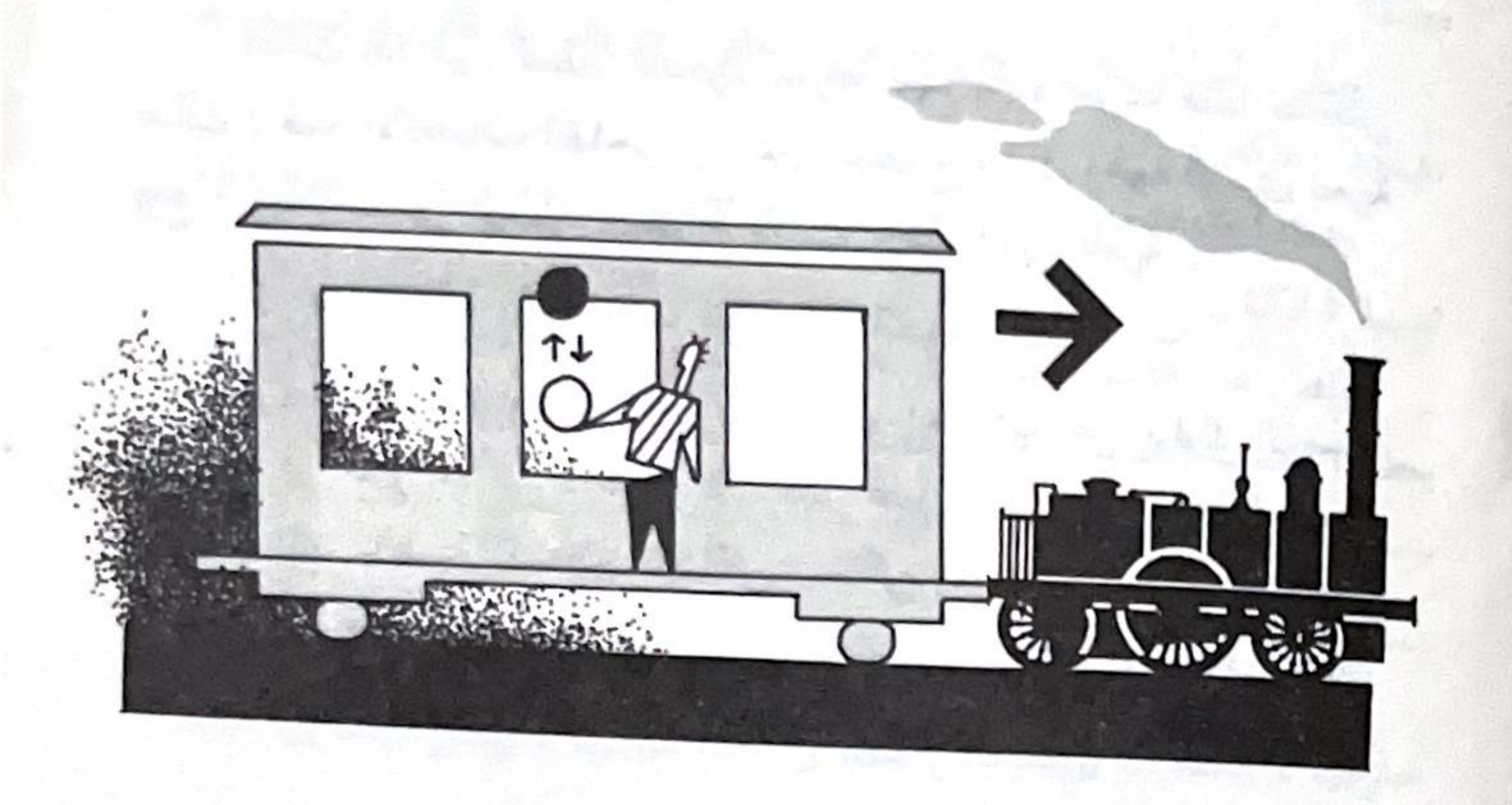
الامر واضح ، فيجب ان نبعد الجسم عن بقية الاجسام ، التى يمكن ان تؤثر عليه .

ومن مثل هذه الاجسام الساكنة ، يمكننا ولو نظريا تكوين مختبر كامل ومن ثم الحديث عن خواص الحركة التى نراقبها من هذا المختبر الذى نسميه مختبرا ساكنا .

واذا اختلفت خواص الحركة المراقبة من مختبر آخر عن خواصها المراقبة من المختبر الساكن ، فلنا كل الحق ، ان نؤكد ان المختبر الاول يتحرك .

هل يتحرك القطار ؟

بعد أن أوضحنا أن الحركة تخضع فى المختبرات المتحركة لقوانين تختلف عن قوانين المختبرات الساكنة ، ربما يبدو لنا أن مفهوم الحركة قد فقد صفته النسبية لاننا من الآن فصاعدا عندما نتحدث عن الحركة يجب ان نعنى فقط الحركة بالنسبة للسكون ونسميها بالحركة المطلقة .



ولكن هل سنلاحظ فى المختبر ، عند اية ازاحة له خروجا عن قوانين حركة الاجسام الموجودة فى المختبر الساكن ؟

لنستقل قطارا متحركا بسرعة منتظمة على خط مستقيم ولنبدأ فى ملاحظة حركة الاجسام فى احدى عربات القطار ونقارنها بتلك التى تحدث فى قطار واقف .

إن الخبرة اليومية تشير الى اننا فى مثل هذا القطار المتحرك على خط مستقيم وبسرعة منتظمة لن نلاحظ اى حيد او اختلاف عن الحركة فى القطار الواقف . فالكل يعلم ان الكرة المقذوفة رأسيا الى اعلى فى قطار متحرك ، تسقط مرة ثانية فى أيدينا ونراها متحركة فى خط مستقيم .

واذا صرفنا النظر عن اهتزاز عربات القطار الذى لا يمكن تلافيه لاعتبارات تكنيكية فكل شىء فى القطار المتحرك بسرعة ثابتة يحدث كما فى القطار الساكن .

ولكن الامر يختلف اذا أبطأ القطار أو أسرع فى حركته . فى الحالة الاولى نندفع الى الامام وفى الثانية الى الخلف ونحس بوضوح باختلاف عن حالة السكون .

كذلك اذا غيّر القطار المتحرك بسرعة ثابتة أتجاه حركته فاننا سنحس بذلك . فمع الانعطاف المفاجئ الى اليمين سيطوح بنا الى الجهة اليسرى للعربة ومع الانعطاف الى اليسار سيطوح بنا الى الجهة اليمنى للعربة .

اذا عممنا هذه المشاهدات نصل الى النتيجة التالية : —

لا يمكن ان نشاهد فى مختبر ما ، اى اختلاف عن سلوك الاجسام الموجودة فى مختبر ساكن ، طالما كان هذا المختبر يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة للمختبر الساكن . ولكن بمجرد ان تتغير سرعة المختبر المتحرك فى المقدار (التعجيل او التقاصر) او فى الاتجاه (الانعطاف) فان هذا ينعكس فورا على سلوك الاجسام الموجودة فيه .

وفقد السكون نهائيا

ان الخاصية العجيبة لحركة مختبر بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، اى عدم تأثيرها على سلوك الاجسام الموجودة فيه ، لتجبرنا على اعادة النظر فى مفهوم السكون . يبدو ان حالة السكون وحالة الحركة المنتظمة على خط مستقيم لا تتميز احداهما عن الاخرى اطلاقا . والمختبر الذى يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة لمختبر ساكن ، يمكن اعتباره ساكنا بالذات . هذا يعنى انه لا يوجد سكون واحد فقط ، أو سكون مطلق ، ولكن هناك عددا لا يحصى من حالات السكون . ولا يوجد مختبر « ساكن » واحد فقط ، ولكن هناك عددا لا يحصى من المختبرات « الساكنة » التى تتحرك بعضها بالنسبة لبعض حركة منتظمة على خط مستقيم بسرع مختلفة .

اذا وحيث قد ظهر ان السكون ليس مفهوما مطلقا انما هو مفهوم نسبى يجب علينا دائما ان نوضح بالنسبة لاى مختبر من هذا العدد اللانهائى من المختبرات المتحركة بعضها بالنسبة لبعض نشاهد الحركة .

وهكذا فلم يحالفنا النجاح حتى الآن فى جعل مفهوم الحركة ، مفهوما مطلقا .

ويبقى السؤال التالى مطروحا على الدوام : — بالنسبة لأى « سكون » نشاهد الحركة ؟

وهكذا فقد توصلنا الى قانون من أهم قوانين الطبيعة ، يعرف عادة بمبدأ نسبية الحركة .

ونص هذا القانون هو : ان حركة الاجسام فى كل المختبرات التى تتحرك بعضها بالنسبة لبعض بسرعة منتظمة على خط مستقيم تخضع لقوانين واحدة .

قانون القصور الذاتى

ينتج من مبدأ نسبية الحركة ان الجسم الذى لا تؤثر عليه اية قوة خارجية ، يمكنه ان يوجد ليس فقط فى حالة سكون ، ولكن ايضا فى حالة

حركة منتظمة على خط مستقيم . وتسمى هذه القاعدة فى الفيزياء بقانون القصور الذاتى .

غير ان هذا القانون يبدو كما لو كان مستترا ولا يفصح عن نفسه مباشرة فى الحياة اليومية . فحسب قانون القصور الذاتى يجب ان يستمر الجسم الموجود فى حالة حركة منتظمة على خط مستقيم فى حركته هذه الى ما لانهاية ، اذا لم تؤثر عليه اية قوة خارجية . ولكننا نعرف من مشاهداتنا ان الجسم الذى لا تؤثر عليه بقوة ما ، يتوقف عن الحركة .

ان السبب هنا يتلخص فى ان كل الاجسام توجد تحت تأثير بعض القوى الخارجية – قوى الاحتكاك – وبذلك ينتفى الشرط الضرورى لملاحظة قانون القصور الذاتى – شرط عدم وجود القوة الخارجية المؤثرة على الجسم . ولكن مع تحسين ظروف التجربة بتقليل قوى الاحتكاك يمكننا ان نقترب من الشروط المثالية ، الضرورية لملاحظة قانون القصور الذاتى ، مبرهنين بذلك على صحة هذا القانون حتى بالنسبة للحركة التى نشاهدها فى الحياة اليومية .

ان اكتشاف مبدأ نسبية الحركة هو احد الاكتشافات العظيمة ، وبدونه لاستحال تطوير الفيزياء . ونحن مدينون بهذا الاكتشاف لعبقرية جاليليو . ولقد وقف جاليليو بشجاعة ضد تعاليم ارسطو ، التى كانت سائدة فى ذلك العصر ، والتى كان يدعمها نفوذ الكنيسة الكاثوليكية ، تلك التعاليم التى كانت تقول بأن الحركة ممكنة فقط ، مع وجود قوة وانها تتوقف حتما بدونها . اوضح جاليليو بسلسلة من التجارب الرائعة ، ان سبب توقف الاجسام المتحركة هو بالعكس وجود قوة الاحتكاك ولو لم تكن هذه القوة موجودة لتحركت الاجسام حركة أبدية .

والسرعة ايضا نسبية !

ينتج من مبدأ نسبية الحركة ، ان الحديث عن حركة جسم بصورة منتظمة على خط مستقيم وبسرعة معينة ، دون الاشارة بالنسبة لأى المختبرات

الساكنة نقيس هذه السرعة ، هو حديث ضحل المعنى ، كالحديث عن الطول الجغرافى دون ان نحدد مسبقا ، من اى خط طول نبدأ القياس . يتضح اذن أن السرعة مفهوم نسبى ايضا . واذا عينا سرعة جسم واحد بالنسبة الى مختبرات مختلفة ، فاننا سنحصل على نتائج مختلفة . ولكن مع هذا ، فان لكل تغير فى السرعة ، سواء كان تعجيلا او تقاصرا او تغيرا فى الاتجاه معنى مطلقا ، لا يعتمد على اختيار المختبر الساكن الذى نشاهد منه الحركة .



الفصل الثالث

مأساة الضوء

الضوء لا ينتشر لحظيا

لقد تأكدنا من وجود مبدأ نسبية الحركة ومن وجود مجموعة لانهائية من المختبرات الساكنة . وقوانين الحركة فى هذه المختبرات لا تختلف من مختبر لآخر . غير انه يوجد نوع من الحركة يتناقض للوهلة الاولى مع المبدأ الموضح سابقا . هذا النوع من الحركة هو انتشار الضوء .

ان الضوء لا ينتشر لحظيا ولو انه ينتشر بسرعة هائلة – ٣٠٠ ٠٠٠ كم /ثانية .

ولا يمكننا أن نعقل مثل هذه السرعة الهائلة ، لاننا فى حياتنا اليومية نتعامل مع سرع أقل من ذلك بما لا يقاس . فحتى سرعة صاروخ كونى سوفييتى مثلا ، وصلت الى ١٢ كم /ثانية فقط . والارض عند دورانها حول الشمس هى الجسم الاكبر سرعة من كل الاجسام التى نتعامل معها ، ولكن سرعة الارض هى ٣٠ كم /ثانية لا غير .

هل يمكن تغيير سرعة الضوء ؟

ان سرعة الضوء الهائلة بحد ذاتها لا تبدو شيئا مغرقا فى الغرابة ولكن المدهش حقا هو انها تمتاز بثبات قاطع .

ويمكننا دائما بطرق مختلفة ان نبطئ او نعجل سرعة اى جسم حتى الرصاصة . نضع فى طريق الرصاصة المنطلقة كيسا من الرمل فتفقد جزءا من سرعتها أثناء اختراقها للكيس وتخرج بسرعة أقل .

ولكن الامر مع الضوء يختلف كلية ، ففى الوقت الذى تعتمد فيه سرعة الرصاصة على تركيب السلاح الذى أطلقها وعلى طبيعة البارود فى الطلقة ، لا تعتمد سرعة الضوء على مصدره فهى واحدة مهما كان المصدر .

والآن لنضع فى طريق الشعاع الضوئى اسطوانة زجاجية ، ولما كانت سرعة الضوء فى الزجاج أقل منها فى الخلاء ، فعند مرور شعاع الضوء خلال الاسطوانة تقل سرعته ولكن ما ان يخرج حتى يعاود انتشاره بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم /ثانية .

فانتشار الضوء فى الخلاء بخلاف كل انواع الحركة الاخرى يمتاز بخاصية على درجة قصوى من الاهمية وهى انه لا يمكن ابطاؤه او تعجيله . ومهما يحدث للشعاع عند دخوله فى المادة فبخروجه الى الخلاء يبدأ فى الانتشار بالسرعة السابقة .

الضوء والصوت

وبهذا الصدد فان انتشار الضوء لا يشبه حركة الأجسام العادية ، ولكن يشبه ظاهرة انتشار الصوت . فالصوت عبارة عن حركة اهتزازية لجزيئات الوسط الذى ينتقل فيه . ولذلك فان سرعته تتحدد بخواص الوسط ، وليس بخواص الجسم الذى يصدر الصوت . وسرعة الصوت مثلها مثل سرعة الضوء لا يمكن إنقاصها او زيادتها ، حتى لو مررنا الصوت خلال جسم ما .

فاذا وضعنا فى طريق انتشار الصوت حاجزا معدنيا مثلا ، فان الصوت يغير من سرعته فى المعدن ، ولكنه يكتسب سرعته الابتدائية حالما يعود الى الوسط الاول .

والآن ، لنضع فى مخلخلة الهواء مصباحا وجرسا كهربائيين ثم نبدأ فى سحب الهواء . سيضعف صوت الجرس حتى يصبح غير مسموع بالمرة ، أما المصباح فيستمر فى الاضاءة كالسابق .

توضح هذه التجربة ان الصوت يمكنه الانتشار فى وسط مادى فقط ،

بينما يستطيع الضوء الانتشار فى الخلاء ، فضلا عن بعض الأوساط المادية . وهذا هو الاختلاف الأساسى بينهما .

مبدأ نسبية الحركة يبدو مزعزعا

لقد أدت سرعة الضوء فى الخلاء – الهائلة والمحدودة فى نفس الوقت – الى تناقض مع مبدأ نسبية الحركة .

لنتخيل قطارا متحركا بسرعة هائلة – ٢٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية ، لنجلس فى مقدمة القطار وليضئ فى آخره مصباح . كيف ستكون فى هذه الحالة نتائج قياس الزمن اللازم للضوء كى يقطع المسافة من احدى نهايتى القطار الى النهاية الأخرى ؟

ان هذا الزمن على ما يبدو سيختلف عن ذلك الذى نحصل عليه فى قطار ساكن . فى الواقع ، بالنسبة للقطار المتحرك بسرعة ٢٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية ، يجب ان تكون سرعة الضوء (الى الأمام فى اتجاه القطار) ٣٠٠ ٠٠٠ – ٢٤٠ ٠٠٠ = ٦٠ ٠٠٠ كم /ثانية فقط . ويبدو الضوء كما لو كان يلاحق الجدار الأمامى لمقدمة القطار . ولو وضعنا المصباح فى مقدمة القطار وقسنا الزمن اللازم للضوء كى يصل الى العربة الأخيرة فان سرعة الضوء فى عكس اتجاه حركة القطار يجب ان تكون ٢٤٠ ٠٠٠ + ٣٠٠ ٠٠٠ = ٥٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية (الضوء ومؤخرة القطار يتحركان ليتلاقيا مع بعضهما) .

وهكذا ينتج ان الضوء فى القطار المتحرك يجب ان ينتشر فى الاتجاهات المختلفة بسرع مختلفة بينما ينتشر الضوء فى القطار الساكن بسرع متساوية فى كلا الاتجاهين .

أما بالنسبة للرصاصة ، فالامر يختلف كل الاختلاف . فسواء أطلقناها فى اتجاه حركة القطار ، او فى الاتجاه المعاكس ستكون سرعتها بالنسبة لجدران العربة ، ثابتة دائما ، ومساوية لسرعة انطلاقها من قطار ساكن .

والسبب هو أن سرعة الرصاصة ، تعتمد على سرعة حركة السلاح الذى

تنطلق منه . أما سرعة الضوء ، فإنها لا تتغير بتغير سرعة حركة المصباح كما ذكرنا .

ويبدو أن هذا النقاش يبين بوضوح أن ظاهرة انتشار الضوء تتناقض تناقضا حادا مع مبدأ نسبية الحركة . فبينما تنطلق الرصاصة فى القطار الساكن ، كما فى القطار المتحرك ، بنفس السرعة بالنسبة لجدران عربة القطار ، يظهر أن الضوء فى القطار المتحرك بسرعة ٢٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية ، ينتشر فى أحد الاتجاهين بسرعة أقل بخمس مرات ، وفى الاتجاه الآخر بسرعة أكبر بـ ١٫٨ مرة من سرعته فى القطار الساكن .

وهكذا يبدو أن دراسة انتشار الضوء يجب أن توفر امكانية تحديد السرعة المطلقة للقطار .

ويلوح أمل : ألا يمكن بدراسة ظاهرة انتشار الضوء تحديد مفهوم السكون المطلق ؟

فالمختبر الذى ينتشر فيه الضوء فى كل الاتجاهات بنفس السرعة التى تساوى ٣٠٠ ٠٠٠ كم /ثانية ، يمكن تسميته بالمختبر الساكن ، وفى أى مختبر آخر يتحرك بالنسبة له بسرعة منتظمة على خط مستقيم فإن سرعة الضوء يجب أن تختلف فى الاتجاهات المختلفة . وفى هذه الحالة لا توجد لا نسبية الحركة ولا نسبية السرعة ولا نسبية السكون على عكس ما أثبتناه سابقا .

الأثير الكونى

كيف يمكن فهم الأمور التى عرضناها سابقا ؟ لقد مر على علماء الفيزياء زمن استفادوا فيه من التشابه بين ظاهرتى انتشار الصوت وانتشار الضوء . وقياسا على ظاهرة انتشار الصوت افترضوا وجود وسط خاص ينتشر فيه الضوء كما ينتشر الصوت فى الهواء وسموه بالأثير . وكذلك افترضوا أن أى جسم أثناء حركته عبر الأثير لا يسحب الأثير معه كما أن القفص المصنوع من قضبان متناهية الدقة لا يسحب الماء معه أثناء حركته فيه .



فإذا كان قطارنا ساكنا بالنسبة للأثير ، فان الضوء سينتشر بنفس السرعة فى الاتجاهات المختلفة . وحركة القطار بالنسبة للأثير ، ستتضح توا من اختلاف سرعة انتشار الضوء فى الاتجاهات المختلفة .

ولكن فرض وجود الأثير – وهو الوسط الذى تظهر اهتزازاته على هيئة ضوء – يثير عددا من الأسئلة الحائرة . ففى البداية نجد بوضوح أن الفرض فى حد ذاته مفتعل جدا . وفى الواقع ، نستطيع دراسة خواص الهواء ليس فقط بملاحظة انتشار الصوت فيه ، ولكن أيضا باستخدام طرق البحث الكيميائية والفيزيائية المتعددة . أما الأثير بالذات ، فلا يلعب اى دور فى أكثر الظواهر . ويمكننا قياس كثافة الهواء وضغطه بأبسط المقاييس البدائية ، فى الوقت الذى انتهت فيه كل المحاولات الرامية إلى معرفة أى شيء عن كثافة الأثير أو ضغطه بالفشل الذريع .

ظهرت إذن حالة غير معقولة .

يمكن طبعا « تفسير » أية ظاهرة من الظواهر الطبيعية باستخدام سائل معين ، له من الخواص ما يساعد على تفسير هذه الظاهرة . ولكن النظرية الحقيقية لتفسير ظاهرة ما ، تختلف عن مجرد إعادة صياغة الحقائق المعروفة بلغة العلماء لأن ما ينتج عنها ، اكثر بكثير مما تعطيه الحقائق التى بنيت عليها النظرية . فمفهوم الذرة مثلا اقتحم العلم انطلاقا من مسائل الكيمياء ولكن هذا المفهوم ساعدنا على تفسير عدد هائل من الظواهر التى لا علاقة لها إطلاقا بالكيمياء وعلى التنبؤ بحدوث تلك الظواهر .

أما افتراض وجود الأثير ، فنحن فى حل من تشبيهه ، بالتفسير الذى أعطاه رجل بدائى عندما سمع الجرامفون بافتراضه وجود « روح جرامفونية » بداخل هذا الصندوق العجيب .

إن مثل هذه التفسيرات بالطبع لا تعنى أى شيء .

ولقد مر علماء الفيزياء قبل افتراض وجود الأثير بتجارب مرة من هذا النوع . ففى وقت من الأوقات « فسروا » ظاهرة الاحتراق بخواص سائل معين



يعرف باسم الفلوجستين والظواهر الحرارية بخواص سائل آخر سموه بمولّد الحرارة . وبهذه المناسبة يمكن القول بأن كلا السائلين ، امتازا بالغموض المطلق ، كالأثير .

نشوء حالة صعبة

ولكن الأهم من كل ذلك أن إخلال الضوء بمبدأ نسبية الحركة كان يجب ان يؤدى بالضرورة الى إخلال بقية الأجسام الأخرى بذلك المبدأ .

إن أى وسط يبدى فى الواقع مقاومة لحركة الأجسام فيه . لذلك كان يجب ان يصحب انتقال الأجسام فى الأثير احتكاك يهدئ من سرعتها ، ليؤدى بها فى النهاية إلى السكون . إن الأرض تدور منذ مليارات السنين (حسب المعطيات الجيولوجية) حول الشمس ، ولم يلاحظ أى نقص فى سرعتها نتيجة احتكاكها بالأثير .

وهكذا فبمحاولتنا تفسير التصرف العجيب للضوء فى القطار المتحرك بفرض وجود الأثير ، وقعنا فى إشكال ضخم . وافتراض وجود الأثير لا يحل التناقض بين إخلال الضوء بمبدأ نسبية الحركة وخضوع الحركات الأخرى له .

يجب ان نحتكم إلى التجربة

كيف نتصرف إزاء هذه التناقضات ؟ قبل أن نبدى هذا الرأى أو ذاك لنتذكر أننا قد توصلنا الى التناقض بين انتشار الضوء ومبدأ نسبية الحركة انطلاقا من النقاش البحت .

حقا لقد كان نقاشا مقنعا للغاية ، ولكن الاكتفاء بالحوار فقط ، يجعلنا نشبه بعض الفلاسفة القدامى الذين حاولوا الحصول على قوانين الطبيعة من أدمغتهم الخاصة . وهنا يبرز بالضرورة خطر ، وهو أن العالم المبنى بهذه الطريقة بكل تناسقه وجماله لا يشبه الواقع كثيرا .

فالتجربة إذن ، هى التى تصدر الحكم القاطع على صحة أية نظرية

فيزيائية . ومن الضرورى ألا نكتفى بمناقشة نظرية لكيفية انتشار الضوء فى قطار متحرك بل يجب الرجوع إلى التجارب التى ستوضح كيف يتحرك الضوء فى الواقع فى هذه الظروف .

ومن السهل إجراء مثل هذه التجربة لأننا أنفسنا نعيش على جسم متحرك . والأرض أثناء دورانها حول الشمس ، لا تتحرك مطلقا على خط مستقيم ، ومن ثم فلا يمكن أن توجد باستمرار فى حالة سكون من وجهة نظر أى مختبر ساكن .

حتى إذا أخذنا فى البدء المختبر الذى تكون الأرض بالنسبة له ساكنة فى شهر يناير ، وحيث إن اتجاه حركة الأرض حول الشمس يتغير ، فمن المؤكد انها فى شهر يونيو ، ستوجد بالنسبة لهذا المختبر فى حالة حركة . لذا فبدراستنا لانتشار الضوء على الكرة الأرضية ، ندرس فى الواقع انتشار الضوء فى مختبر متحرك على وجه التحديد . والأكثر من هذا إن الأرض تتحرك بسرعة ٣٠ كم /ثانية ، وهى سرعة هائلة بالنسبة لظروفنا (يمكن إهمال دوران الأرض حول محورها الذى يكسبها سرعة تصل الى ١/٢ كم /ثانية) .

هل يحق لنا ، مع ذلك ، تمثيل الكرة الأرضية بالقطار المتحرك ، سابق الذكر ، والذى أدى بنا الى المأزق ؟ فالقطار يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، أما الأرض فتتحرك دائريا . نعم ، يحق لنا ذلك فلا بأس على الاطلاق ، من اعتبار أن الأرض تتحرك على خط مستقيم ، وبسرعة منتظمة خلال الفترة الزمنية لمرور الضوء عبر أجهزة القياس والتى لا تتعدى جزءا ضئيلا جدا من الثانية . والخطأ الذى يمكن ان نقع فيه هنا طفيف جدا ، بحيث لا يمكن اكتشافه .

وما دمنا قد شبهنا الكرة الأرضية بالقطار ، فمن الطبيعى أن نتوقع أن يتصرف الضوء على الأرض بنفس الدرجة من الغرابة ، أى ينتشر فى الاتجاهات المختلفة بسرع مختلفة .

مبدأ النسبية ينتصر

لقد أجرى مايكلسون – أحد أعظم علماء الفيزياء التجريبية فى القرن التاسع عشر – مثل هذه التجربة عام ١٨٨١ وقاس بدرجة عالية من الدقة ، سرعة الضوء بالنسبة للأرض فى اتجاهات مختلفة . ولكى يدرك الاختلاف البسيط المتوقع فى السرع ، اضطر مايكلسون إلى استخدام معدات على درجة عالية من الدقة والحساسية ، واظهر فى ذلك براعة وقدرة فائقة على الابداع والابتكار . ولقد كانت التجربة على درجة عالية من الدقة بحيث كان من المستطاع ، إيجاد فروق فى السرع أقل كثيرا ، مما كان متوقعا .

لقد ادت تجربة مايكلسون التى أعيدت بعد ذلك أكثر من مرة فى ظروف متباينة تماما إلى نتيجة غير متوقعة على الاطلاق . لقد أوضحت أن انتشار الضوء فى المختبر المتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، يحدث فى الواقع بشكل يختلف تماما عما تؤدى اليه دراستنا النظرية . وعلى وجه التحديد لاحظ مايكلسون ان الضوء ينتشر على الأرض (المتحركة) بسرع متساوية فى كافة الاتجاهات . وفى هذا الصدد فإن انتشار الضوء ، كانطلاق الرصاصة ، يتم فى الاتجاهات المختلفة بسرعات متساوية بالنسبة إلى جدران المختبر بصرف النظر عن حركة المختبر (المنتظمة على خط مستقيم) .

وهكذا أوضحت تجربة مايكلسون ، أن ظاهرة انتشار الضوء ، على عكس دراستنا النظرية ، لا تتناقض على الاطلاق مع مبدأ نسبية الحركة ، بل على العكس توجد معه فى تناسق كامل . وبكلمات أخرى يتضح أن مناقشتنا على الصفحة ٢٦ هى مناقشة خاطئة .

انتقلنا من حالة سيئة إلى حالة أسوأ

وهكذا أزالت التجربة التناقض بين قوانين انتشار الضوء وبين مبدأ نسبية الحركة . وظهر أن ذلك التناقض كان مجرد تناقض موهوم نتج عن مناقشتنا الخاطئة . ولكن أين يكمن الخطأ على وجه التحديد ؟

إن البحث عن حل لهذا السؤال أتعب علماء الفيزياء فى العالم كله لمدة ربع قرن تقريبا من ١٨٨١ الى ١٩٠٥ ، ولكن كل التفسيرات المقترحة أدت إلى تناقضات مستمرة ، بين النظرية والتجربة .

إذا تحرك قفص مصنوع من قضبان دقيقة وفيه مراقب ، فان المراقب يحس بتيار من الهواء . واذا كان مع المراقب فى القفص مصدر للصوت وقاس سرعة الصوت بالنسبة للقفص ، لوجدها فى اتجاه حركة القفص ، أقل منها فى الاتجاه المضاد . أما إذا وضعنا مصدر الصوت فى قطار مغلق النوافذ والأبواب ، وقسنا سرعة الصوت فيه ، وحيث إن مثل هذا القطار يجر معه الهواء الذى بداخله ، فاننا نجد أن سرعة الصوت متساوية فى كافة الاتجاهات .

وإذا انتقلنا من ظاهرة انتشار الصوت إلى الضوء لكان باستطاعتنا فرض تفسير نتائج تجربة مايكلسون بما يلى : عندما تتحرك الأرض فهى لا تترك الأثير ساكنا وتمر من خلاله كالقفص المصنوع من قضبان دقيقة ، ولكنها تجره معها ، مكونة معه أثناء حركتها كتلة واحدة . وهكذا تصبح نتائج تجربة مايكلسون مفهومة .

ولكن هذا الفرض ، يتعارض تعارضا حادا مع مجموعة كبيرة من التجارب الأخرى . فهو يتعارض مثلا مع خواص انتشار الضوء فى انبوبة يجرى فى داخلها ماء ، لأنه لو كان الفرض صحيحا ، لوجدنا أن سرعة الضوء باتجاه مجرى الماء ، تساوى سرعة الضوء فى الماء الساكن ، مضافا اليها سرعة الماء . ولكن القياسات المباشرة تعطى سرعة أقل من تلك المتوقعة من مناقشتنا هذه .

هذا ، فضلا عن أننا تحدثنا عن حالة غاية فى الغرابة هى أن الأجسام عند حركتها خلال الأثير لا تعانى أى احتكاك . أما إذا كانت الأجسام لا تمر خلال الأثير فقط ، ولكنها تجره معها ، فإن الاحتكاك لابد أن يكون محسوسا على أى حال .

وهكذا انتهت بالفشل كل محاولات إزالة التناقض الذى أدت إليه النتائج غير المتوقعة لتجربة مايكلسون .



والآن نلخص الحديث بما يلى :

إن تجربة مايكلسون تؤكد مبدأ نسبية الحركة ليس فقط لحركة الأجسام العادية ، ولكن أيضا لخاصية انتشار الضوء ، أى لجميع ظواهر الطبيعة .

وقد اتضح مما سبق ، أن مبدأ نسبية الحركة ، يؤدى بشكل مباشر إلى نسبية السرعة : يختلف مقدار السرعة من مختبر إلى آخر يتحرك بالنسبة له . ولكن سرعة الضوء — ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية — لا تتغير فى المختبرات المختلفة ، وبالتالى فهى ليست نسبية بل مطلقة !

الفصل الرابع

اتضاح نسبية الوقت

هل يوجد تناقض فى الواقع ؟

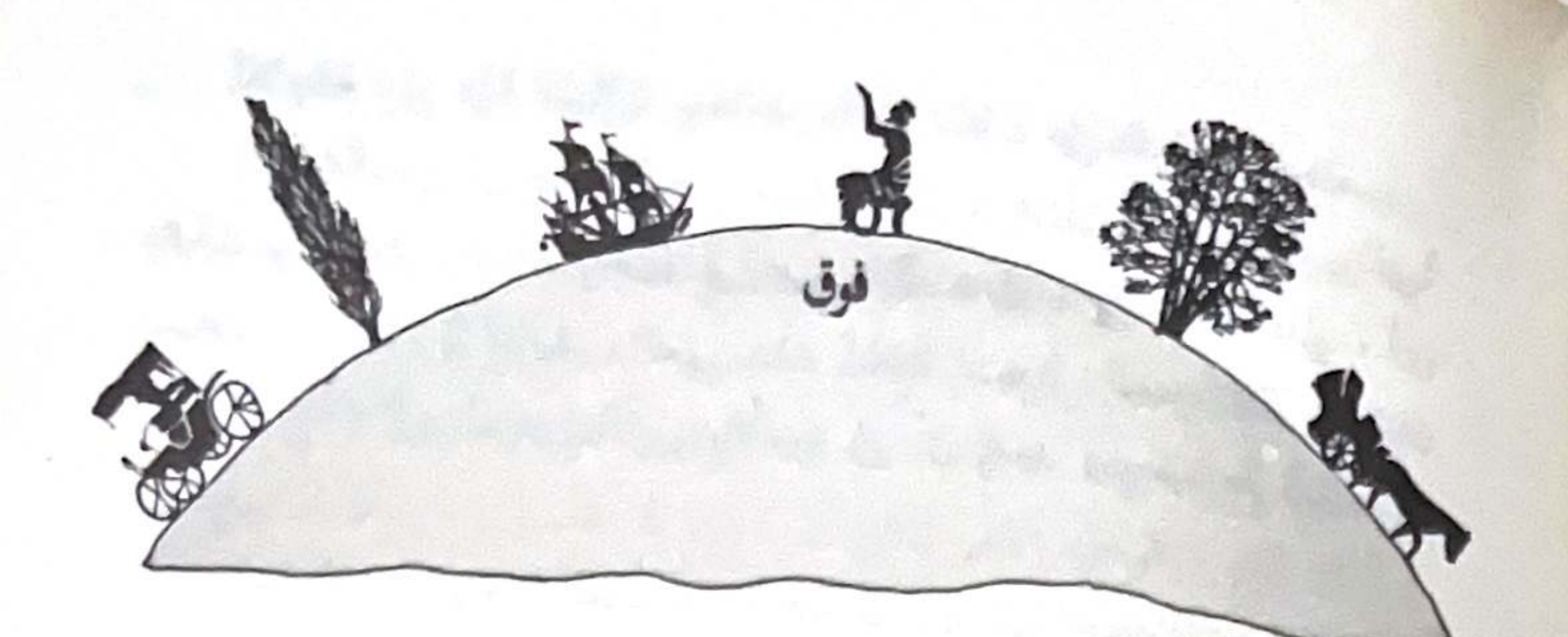
قد يبدو للوهلة الأولى ، أننا نواجه تناقضا منطقيا بحتا . ان ثبات سرعة الضوء فى مختلف الاتجاهات يؤكد مبدأ النسبية ، فى الوقت الذى تكون فيه سرعة الضوء مطلقة .

لنتذكر موقف الانسان فى القرون الوسطى ، من الواقع القائل بأن الأرض كروية : إن كروية الأرض بالنسبة لذلك الانسان ، كانت تناقض تماما ، وجود قوة الجاذبية الارضية إذ ان جميع الأجسام كان يجب أن تتساقط عن الأرض « إلى أسفل » . ولكننا فى الوقت نفسه نعلم بالتأكيد أنه ليس هناك أى تناقض منطقى فى ذلك . كل ما فى الأمر أن مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » هما مفهومان نسبيان غير مطلقين .

إن نفس الحالة تنطبق على ظاهرة انتشار الضوء .

وسيكون من العبث البحث عن تناقض. منطقى بين مبدأ نسبية الحركة ومطلقية سرعة الضوء . ذلك لأن التناقض هنا يظهر لمجرد أننا فى هذه الحالة أدخلنا ، دون أن نشعر ، فروضا إضافية أخرى ، تماما كما كان عليه الأمر مع الناس فى القرون الوسطى ، حينما أنكروا كروية الأرض ، مستندين على اعتبارهم مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » مفهومين مطلقين . إن الايمان بمطلقية الـ « أعلى » والـ « أسفل »، المضحك بالنسبة لنا ، جاء نتيجة لافتقار هؤلاء الناس للتجربة ، لأنهم فى ذلك الوقت قلما كانوا يسافرون ، ولم يكونوا ليعرفون سوى مساحات ضئيلة من سطح الارض . وبديهى أن شيئا مماثلا حدث لنا كذلك ، بسبب افتقارنا للتجربة ، حيث كنا نعتبر الأشياء النسبية وكأنها مطلقة .





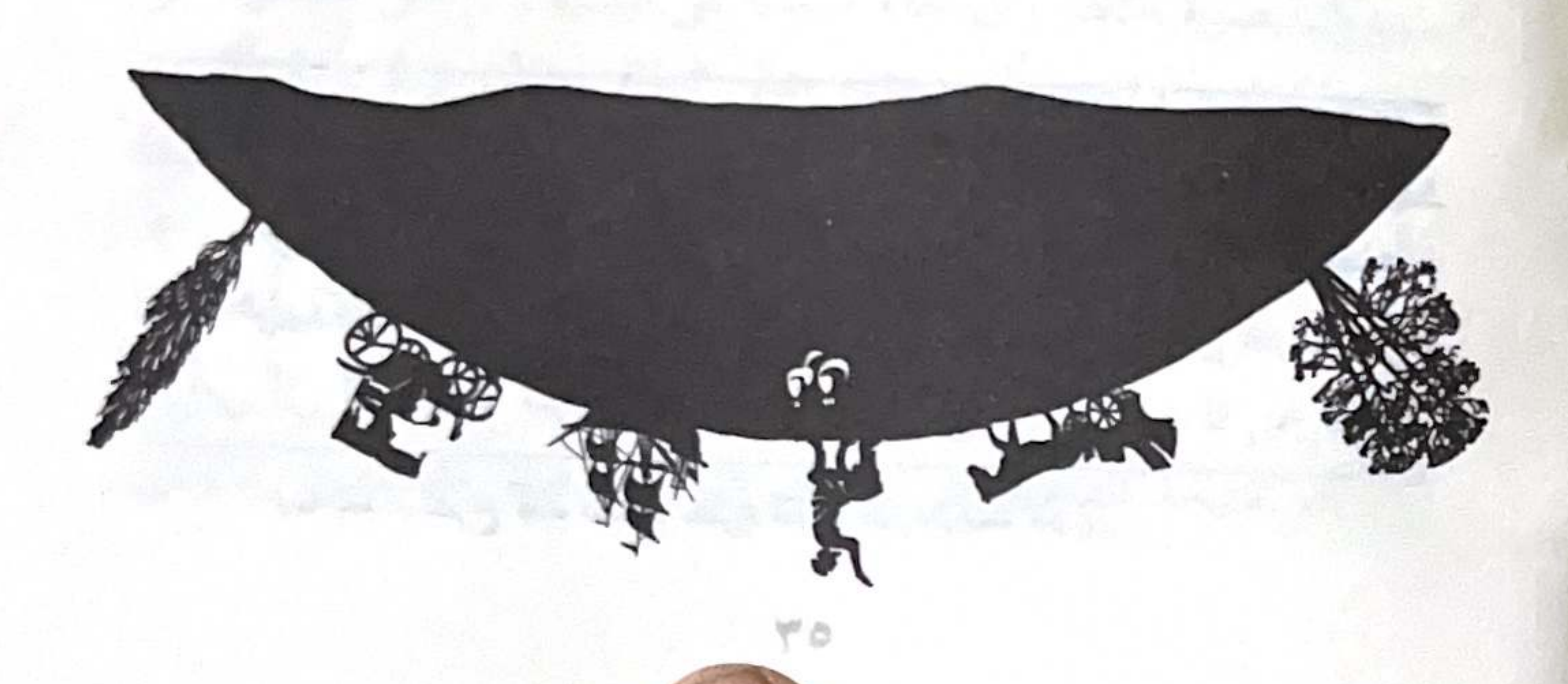
فما هى تلك الأشياء بالذات ؟

ولأجل الكشف عن خطأنا ، سنعتمد فى المستقبل فقط على الاعتبارات التى تثبتها التجربة .

فلنستقل القطار

لنتصور قطارا يبلغ طوله ٥٤٠٠٠٠٠ كم ، يتحرك على خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية .

ولنفترض أن مصباحا أوقد فى وسط القطار ، فى لحظة زمنية معينة من أوقات السفر . وقد نصبت ، فى العربتين الأولى والأخيرة ، أبواب آلية تفتح فى تلك اللحظة التى تتعرض فيها لأشعة الضوء . فما الذى سيراه الناس الجالسون فى القطار والناس الواقفون على الرصيف ؟



للاجابة على هذا السؤال سنعتمد ، كما اتفقنا ، على التجارب فحسب .

إن الجالسين فى وسط القطار سيرون الآتى : بما أن الضوء حسب تجربة مايكلسون ينتشر بسرعة واحدة فى جميع الاتجاهات ، بالنسبة للقطار ، أى بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية ، ففى هذه الحالة سيصل الضوء بعد ٩ ثوان $\left(\frac{\text{٢ ٧٠٠ ٠٠٠}}{\text{٣٠٠ ٠٠٠}}\right)$ الى العربتين الأولى والأخيرة فى آن واحد ، وسينفتح البابان فى آن واحد .

فما الذى سيراه الواقفون على الرصيف ؟ ينتشر الضوء بالنسبة للمحطة بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية ايضا . غير أن العربة الأخيرة تسير لملاقاة شعاع الضوء . ولهذا فإن الضوء سيتقابل مع العربة الأخيرة بعد مضى $\frac{\text{٢ ٧٠٠ ٠٠٠}}{\text{٣٠٠ ٠٠٠} + \text{٢٤٠ ٠٠٠}} = \text{٥}$ ثوان . أما بالنسبة للعربة الأولى ، فيجب على شعاع الضوء ان يلاحقها ، ولذلك فلن يصلها إلا بعد مضى $\frac{\text{٢ ٧٠٠ ٠٠٠}}{\text{٣٠٠ ٠٠٠} - \text{٢٤٠ ٠٠٠}} = \text{٤٥}$ ثانية .

إذن ، فسيبدو للواقفين على الرصيف ، أن أبواب القطار لم تفتح فى آن واحد . ففى البداية ستفتح أبواب العربة الأخيرة ، أما ابواب العربة الأولى فلن تفتح إلا بعد مضى ٤٥ – ٥ = ٤٠ ثانية *.

وفى هذه الحالة ، فان الحادثين المتماثلين أى فتح أبواب عربتى القطار الأولى والأخيرة ، يبدوان للجالسين فى القطار ، وكأنهما يجريان فى آن واحد ، أما بالنسبة للواقفين على الرصيف ، فانهما يبدوان منفصلين بفترة زمنية قدرها ٤٠ ثانية .

هزيمة « العقل السليم »

هل يوجد فى ذلك تناقض ؟ أفلا تبدو هذه الحقيقة التى اكتشفناها ، مجرد هراء كأن نقول مثلا : طول التمساح من الذنب الى الرأس متران ، ومن الرأس الى الذنب ، متر واحد ؟

* فيما بعد سنشرح هذه المفاهيم بصورة أدق (انظر صفحة ٥٥) .

فلنحاول أن نتفهم لماذا تبدو النتيجة التى توصلنا إليها غير معقولة ، رغم أنها فى وفاق تام مع التجربة .

مهما فكرنا فى ذلك ، فلن نستطيع أن نجد تناقضا منطقيا فى ان الحادثين اللذين جريا فى آن واحد بالنسبة للمسافرين فى القطار ، بدوا منفصلين بفترة قدرها ٤٠ ثانية بالنسبة للواقفين على الرصيف .

ان الشىء الوحيد الذى يمكن أن نعزى به أنفسنا ، هو أن استنتاجاتنا تتناقض مع « العقل السليم » .

ولنتذكر كيف كان « العقل السليم » للانسان فى القرون الوسطى يعارض حقيقة دوران الأرض حول الشمس ! فى الواقع ، كانت التجربة اليومية تؤكد لانسان القرون الوسطى أن الأرض مستقرة والشمس تدور حولها . أفليس الناس بمدينين لـ « العقل السليم » ، الذى قادهم الى براهين مضحكة ، تؤكد عدم إمكانية كروية الأرض ؟!

لقد سُخر من تعارض « العقل السليم » مع الواقع ، فى النادرة المعروفة ، عن المزارع الذى رأى زرافة فى حديقة الحيوان فصرخ متعجبا : « هذا غير ممكن ! » .

إن ما يسمى بالعقل السليم ، ليس إلا مجرد تعميم لتصوراتنا ، النابعة من الحياة اليومية .

وهذا مستوى معين للادراك ، يعكس مستوى التجربة .

إن صعوبة إدراك أن الحادثين اللذين يجريان فى القطار فى آن واحد ، سيبدوان بصورة مختلفة ، فى حالة وجودنا على الرصيف ، تماثل الصعوبة التى واجهها المزارع ، الذى أثار دهشته منظر الزرافة . فالمزارع لم ير الزرافة من قبل ، كما أننا ما تحركنا أبدا بسرعة تقترب ، ولو إلى حد ما ، من السرعة الأسطورية التى تبلغ ٢٤٠ ٠٠٠ كم/ثانية . وليس بالغريب أن الفيزيائيين إذ يواجهون مثل هذه السرعة الأسطورية ، فانهم يلاحظون وقائع ، تختلف اختلافا جوهريا عن تلك الوقائع التى ألفناها فى حياتنا اليومية .

ان النتيجة المفاجئة التى توصلنا إليها من تجربة مايكلسون ، والتى

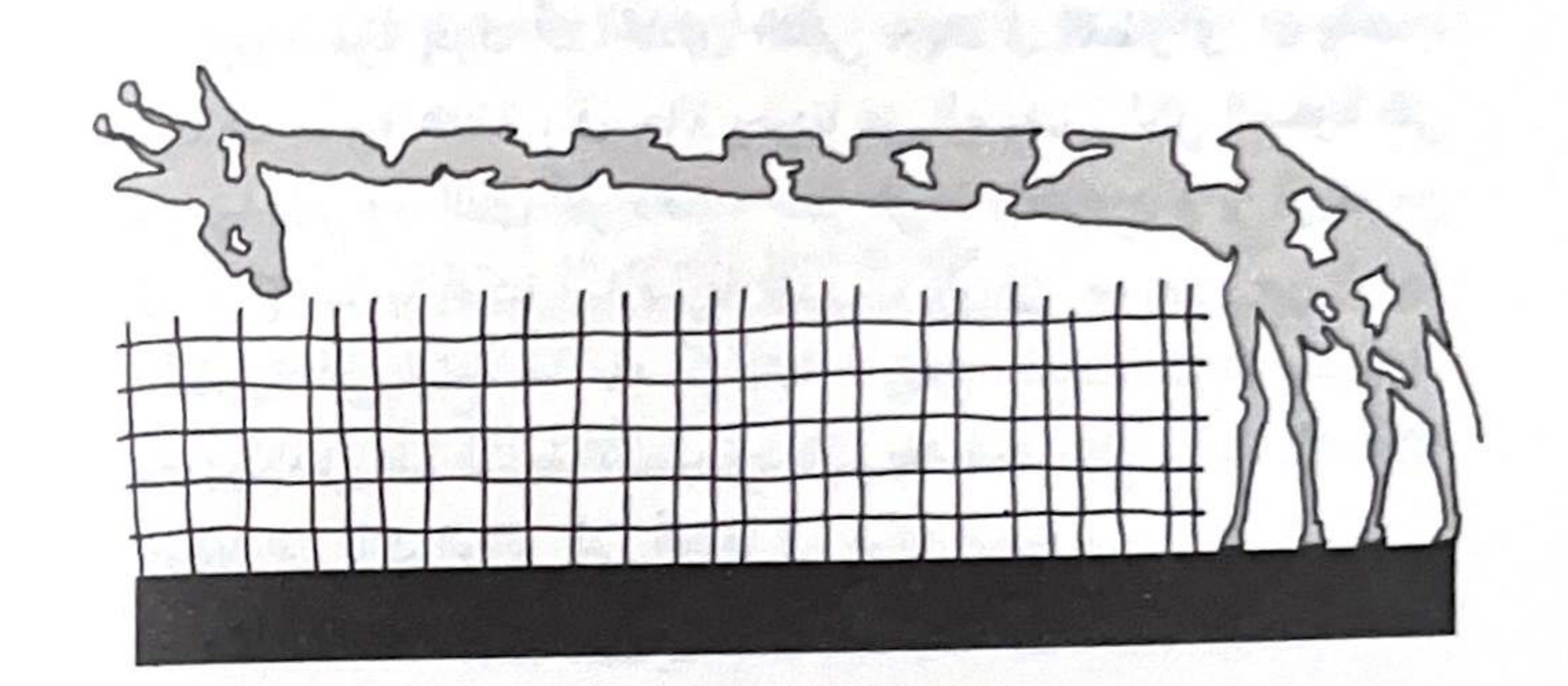
وضعت الفيزيائيين أمام هذه الوقائع الجديدة ، حملتهم على إعادة النظر ، على الرغم من « العقل السليم » ، فى التصورات الراسخة فى أذهاننا ، والتى اعتدنا عليها ، كوقوع حادثين فى آن واحد .

وبديهى ، أنه كان فى استطاعتنا أن نتمسك بـ « العقل السليم » وبالتالى أن ننكر وجود ظواهر جديدة ، غير أننا لو كنا قد فعلنا ذلك ، لاصبحنا على غرار ذلك المزارع فى النادرة التى سبق ذكرها .

الزمن يلاقى نفس مصير الفراغ

إن العلم لا يخشى الاصطدام بما يسمى بالعقل السليم ، بل إن ما يخيفه ، هو عدم التوافق بين التصورات الموجودة فعلا ، وبين المعلومات التجريبية الجديدة . فإذا ما حدث ذلك ، فإن العلم يحطم ، دون رحمة ، التصورات القائمة ، ويرفع بذلك إدراكنا الى درجة أعلى .

لقد كنا نعتبر أن الحادثين الآنيين يتمان فى آن واحد فى أى مختبر . غير أن التجربة أوصلتنا إلى نتيجة أخرى ، فقد اتضح ان هذا صحيح فقط فى حالة سكون المختبرين بالنسبة لبعضهما . وإذا ما تحرك المختبران ، أحدهما بالنسبة للآخر ، فإن الحادثين الآنيين ، فى أحد المختبرين ، يجب أن يتما فى وقتين مختلفين فى المختبر الآخر . إن مفهوم آنية الحادثين ، يصبح نسبيا ،



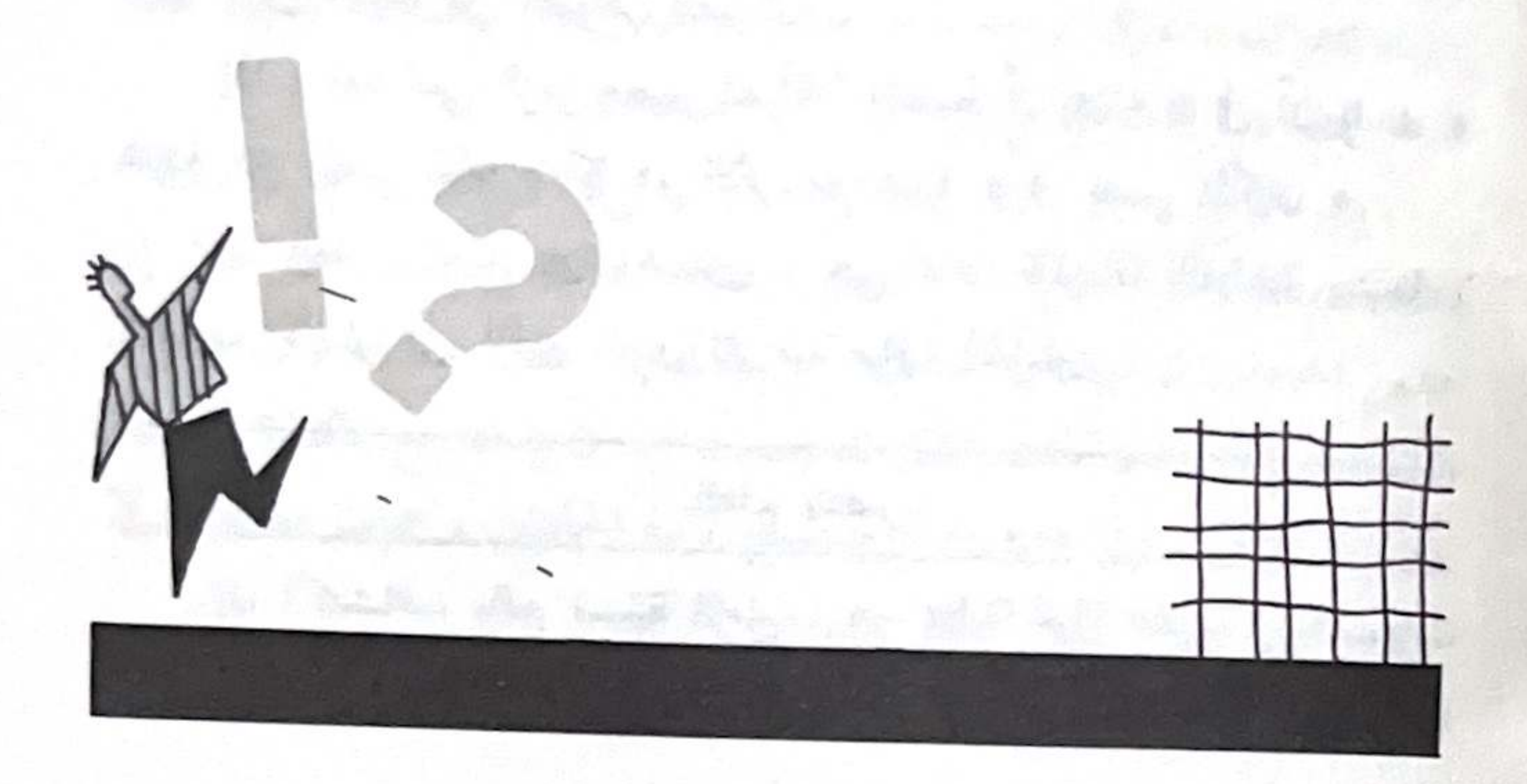


ويكون له معنى فقط فى تلك الحالة التى نبين فيها كيفية حركة المختبر ، الذى يراقب منه هذان الحادثان .

ولنتذكر المثال المتعلق بالقيم الزاويّة ، وهو المثال الذى تطرقنا اليه فى صفحة ١٠ . فكيف كان الأمر هناك ؟ لنفترض ان المسافة الزاوية بين النجمين ، تساوى صفرا فى حالة مراقبتهما من الأرض ، وذلك لوقوع النجمين على خط مستقيم واحد . ونحن لا نواجه فى حياتنا اليومية أى تناقض مع هذا الفرض ، وذلك إذا اعتبرنا هذا الفرض مطلقا . غير أن الأمر يتغير ، إذا ما تركنا حدود مجموعتنا الشمسية ، وراقبنا نفس النجمين من اية نقطة أخرى فى الفضاء . ففى هذه الحالة ، المسافة الزاوية لا تساوى صفرا ، بل مقدارا آخر .

إن هذه الحقيقة الواضحة لانسان عصرنا هذا ، والتى تقول بأن النجمين اللذين ينطبقان عند مراقبتهما من الأرض يمكن ألا ينطبقا عند مراقبتهما من نقاط أخرى فى الفضاء ، كانت تبدو غير معقولة لانسان القرون الوسطى ، الذى كان يتصور السماء قبّة ترصعها النجوم .

ولنفترض أنه طرح علينا السؤال التالى : هل يمكننا فى الواقع ، اعتبار الحادثين آنيين أم لا ، إذا ما غضضنا النظر عن المختبرات بوجه عام ؟ إن هذا السؤال ، للاسف ، لا يحتوى على معنى ، أكثر مما يحتوى عليه السؤال التالى : اذا ما تجاهلنا النقاط التى تجرى المراقبة منها ، فهل يقع النجمان ، فى





الواقع ، على خط مستقيم واحد أم لا ؟ إن جوهر الأمر هنا ، هو أن الوقوع على خط مستقيم واحد ، لا يتوقف على حالة النجمين فحسب ، بل وكذلك على النقطة التى تجرى منها المراقبة . وينطبق نفس الشىء على آنية الحادثين ، التى لا تتوقف على الحادثين وحسب ، بل وكذلك على المختبر الذى تتم منه مراقبة هذين الحادثين .

لقد التقينا حتى الآن بسرع صغيرة بالمقارنة مع سرعة الضوء ، لذلك فاننا لم نستطع اكتشاف نسبية مفهوم الآنية . أما إذا ما تطرقنا إلى دراسة الحركة ذات السرع التى يمكن مقارنتها بسرعة الضوء ، فاننا نضطر الى إعادة النظر فى مفهوم الآنية .

وبنفس هذه الطريقة تماما ، اضطر الناس الى اعادة النظر فى مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » ، عندما أخذوا يقطعون مسافات ، يمكن مقارنتها بأبعاد الأرض . اما قبل ذلك ، فان تصور شكل الأرض مسطحا ، لم يكن يؤدى إلى أى تناقض مع التجربة .

والحقيقة ، فاننا لا نستطيع الحركة بسرع تقترب من سرعة الضوء ، ولذلك فلا يمكننا أن نراقب ، بتجربتنا الذاتية ، الوقائع المتناقضة من وجهة نظر التصورات القديمة ، تلك الوقائع التى تحدثنا عنها توا . ولكنه يمكننا بفضل التكنيك الحديث فى إجراء التجارب الفيزيائية ، أن نؤكد هذه الوقائع بملء الثقة ، فى عديد من الظواهر الفيزيائية .

إذا ، فقد لقى الزمن مصير الفراغ ! واتضح أن عبارة « فى آن واحد » مجردة من المعنى تماما ، كما هو الأمر مع عبارة « فى نفس المكان » .

إن الفترة الزمنية بين الحادثين ، هى تماما كالمسافة الفراغية بينهما ، تتطلب الاشارة الى المختبر الذى تتم منه مراقبة الحادثين .

العلم ينتصر

إن اكتشاف واقع نسبية الزمن ، هو بمثابة تحول عميق فى تصورات الانسان للطبيعة . وهو من أهم انتصارات العقل الانسانى على جمود

التصورات الراسخة طوال عدة قرون . ويمكن أن نقارن هذا الاكتشاف بانقلاب التصورات الانسانية ، المتعلقة باكتشاف واقع كروية الارض .

وقد تم اكتشاف نسبية الزمن عام ١٩٠٥ من قبل العالم الفيزيائى الكبير ألبرت آينشتاين (١٨٨٠ – ١٩٥٥)، الذى يعتبر من أعظم علماء القرن العشرين قاطبة . وقد رفع هذا الاكتشاف آينشتاين ، الذى كان يبلغ الخامسة والعشرين من عمره ، إلى صفوف عمالقة الفكر الانسانى . وقد أصبح اسمه خالدا فى ذاكرتنا خلود كل من كوبرنكس ونيوتن لأنه شق طرقا جديدة فى حقول العلم .

وكان لينين يعتبر ألبرت آينشتاين واحدا من « أكبر العلماء الذين طوروا العلوم الطبيعية » .

ان نظرية نسبية الزمن ، والنتائج الناجمة عنها ، تسمى كالعادة بنظرية النسبية . ولا يجب أن نخلط بينها وبين مبدأ نسبية الحركة .

للسرعة حدود

كانت الطائرات تحلق ، قبل الحرب العالمية الثانية ، بسرع تقل عن سرعة الصوت . أما الآن فقد صنعت طائرات تفوق سرعتها سرعة الصوت . إن الموجات اللاسلكية تنتشر بسرعة الضوء . أفلا يمكن أن نضع أمامنا مهمة إنشاء تلغراف ، تفوق سرعته سرعة الضوء ، بغية إرسال الاشارات بسرعة تفوق سرعة الضوء ؟ لقد اتضح أن هذا الأمر مستحيل .

وفى الواقع ، فلو كان باستطاعتنا أن نرسل الاشارات بسرعة لانهائية ، لكان بامكاننا ان نحقق آنية الحادثين بصورة مطلقة ولاستطعنا أن نقول إن هذين الحادثين قد وقعا فى آن واحد ، وذلك إذا كانت الاشارة ذات السرعة اللانهائية والخاصة بالحادث الأول قد وصلت فى آن واحد مع الاشارة الخاصة بالحادث الثانى . وفى هذه الحالة ستصبح لآنية الحادثين ، سمات مطلقة ، لا تتوقف على حركة المختبر الذى تجرى منه المراقبة .

وهكذا ، نستنتج ان إرسال الاشارات لا يمكن أن يتم فى لمح البصر ،

وذلك لان التجربة تدحض مطلقية الزمن . إن سرعة الارسال من نقطة فى الفراغ الى نقطة أخرى ، لا يمكن أن تكون لانهائية ، او بمعنى آخر لا يمكنها أن تزيد على قيمة نهائية معينة ، تسمى بالسرعة القصوى .

إن هذه السرعة القصوى تطابق سرعة الضوء .

فى الواقع ، فبموجب مبدأ نسبية الحركة يجب أن تكون قوانين الطبيعة واحدة فى جميع المختبرات المتحركة بالنسبة لبعضها البعض (بسرعة منتظمة على خط مستقيم) . إن الاقرار بأن السرعة لا يمكن أن تزيد على حد معين ، هو قانون طبيعى ، ولذا يجب أن تكون قيمة السرعة القصوى متساوية تماما فى مختلف المختبرات . وكما نعرف ، فان لسرعة الضوء نفس هذه الخواص .

إذا ، فان سرعة الضوء ليست مجرد سرعة انتشار إحدى الظواهر الطبيعية ، بل إنها تلعب دورا هاما ، كسرعة قصوى .

إن اكتشاف وجود السرعة القصوى فى العالم ، هو من أهم انتصارات الفكر الانسانى وإمكانيات الانسان التجريبية .

إن فيزيائى القرن الماضى لم يدرك أن هناك سرعة قصوى فى العالم ، وأنه يمكن إثبات حقيقة وجودها . وبالاضافة الى هذا فحتى إذا اصطدم ، اثناء تجاربه ، بوجود السرعة القصوى فى الطبيعة ، فانه لم يكن ليستطيع الوثوق بأن هذا هو قانون الطبيعة ، وليس نتيجة قصور فى الامكانيات التجريبية يمكن إزالته بتطور التكنيك .

إن مبدأ النسبية يبين أن وجود السرعة القصوى يكمن فى طبيعة الأشياء بالذات . إن الظن بأن تقدم التكنيك سيمكن من بلوغ سرع تزيد على سرعة الضوء ، أمر مضحك تماما ، كما لو ظننا بأن عدم وجود نقاط على سطح الأرض تبعد إحداها عن الأخرى بمسافة تزيد على ٢٠٠٠٠ كم ، هو ليس بقانون جغرافى ، بل هو عبارة عن ضعف فى معلوماتنا ، ونأمل بأننا سوف نستطيع ، بتطور علم الجغرافيا أن نجد نقاطا على سطح الأرض تبعد عن بعضها بمسافة تزيد على ذلك بكثير .

إن لسرعة الضوء أهمية منقطعة النظير فى الطبيعة ، وذلك لأنها أقصى

سرعة يمكن أن تنتشر بها كل الأشياء قاطبة . إن الضوء ، إما أن يسبق أية ظاهرة أخرى ، او على الأقل ، يصل معها فى آن واحد .

لو حدث أن انقسمت الشمس الى قسمين ، وتكوّن نجم مزدوج ، لتغيرت حركة الأرض بطبيعة الحال .

إن فيزيائى القرن الماضى ، الذى لم يكن يعرف شيئا عن وجود السرعة القصوى فى الطبيعة ، كان سيفترض بالتأكيد أن تغير حركة الأرض يجب أن يحدث فور انقسام الشمس . بيد أن الضوء ، سيحتاج الى ٨ دقائق للوصول من الشمس المنقسمة الى الأرض .

ولكن فى الواقع ، فإن تغير حركة الأرض سيبدأ كذلك بعد مضى ٨ دقائق على انقسام الشمس . أما قبل هذه اللحظة ، فإن الأرض ستستمر فى حركتها ، كما لو أن الشمس لم تنقسم . وعلى وجه العموم ، فلا يمكن لأى شيء يحدث للشمس أو عليها ، أن يؤثر أى تأثير على الأرض وحركتها ، قبل انقضاء ٨ دقائق .

وبالطبع ، فان السرعة المحدودة لانتشار الاشارات ، لا تحرمنا إمكانية إثبات آنية حادثين ما . ولهذا الغرض يجب حساب الفترة الزمنية لتخلف الاشارة ، وهو ما نفعله عادة .

غير ان مثل هذه الطريقة لاثبات آنية حادثين تتفق تماما مع نسبية هذا المفهوم . وفى الواقع ، لكى نحسب زمن التخلف ، يجب علينا تقسيم المسافة بين موقعى الحادثين ، على سرعة انتقال الاشارة . ومن جهة أخرى فقد رأينا ، عند دراسة مسألة إرسال الخطابات من القطار السريع موسكو – فلاديفستوك ، أن نفس مفهوم المكان فى الفراغ ، هو مفهوم نسبى الى حد كبير .

قبل وبعد

لنفترض أن قطارنا المزود بالمصباح المضاء ، والذى ندعوه بقطار آينشتاين ، قد تعطلت فيه الأجهزة الآلية لفتح الأبواب ، ولاحظ المسافرون فى

القطار أن أبواب العربة الأولى قد فتحت قبل أبواب العربة الاخيرة ، بخمس عشرة ثانية . اما الواقفون على رصيف المحطة فسيرون العكس : ان أبواب العربة الاخيرة قد فتحت قبل ابواب العربة الأولى بـ ٤٠ – ١٥ = ٢٥ ثانية . وهكذا ، فإن الأمر الذى حدث مسبقا بالنسبة لمختبر ما ، يمكن أن يحدث متأخرا بالنسبة لمختبر آخر .

وهنا تنشأ مباشرة ، فكرة أن نسبية مفهومى « قبل » و « بعد » يجب أن تكون محدودة . إذ أنه من الصعب أن يفترض المرء (من وجهة نظر أى مختبر كان) أن الطفل يمكن أن يولد قبل أمه .

لقد ظهرت على الشمس بقعة . وبعد ٨ دقائق لاحظها عالم فلكى يراقب الشمس بواسطة تلسكوب . وكل ما سيفعله العالم الفلكى بعد هذا ، سيكون اكثر تأخرا على الاطلاق من ظهور البقعة – أى أكثر تأخرا ، مهما كان عليه المختبر الذى يراقب بقعة الشمس ، والعالم الفلكى . وبالعكس ، فكل ما حدث للعالم الفلكى قبل ظهور البقعة بـ ٨ دقائق (بحيث تصل إشارة ضوئية عن هذا الحادث إلى الشمس قبل ظهور البقعة) ، قد حدث أكثر تبكيرا على الاطلاق من ظهور البقعة .

وإذا ما لبس العالم الفلكى نظارته فى الفترة الزمنية الواقعة بين هذين الحادثين ، فان التناسب الزمنى بين ظهور البقعة ولبس النظارة من قبل العالم الفلكى ، لن يكون مطلقا .

ويمكننا مثلا أن نتحرك بالنسبة لكل من العالم الفلكى والبقعة ، بحيث نرى العالم الفلكى الذى يلبس نظارته قبل أو بعد أو فى آن واحد مع ظهور البقعة : ويعتمد ذلك على سرعة حركتنا واتجاهها .

وهكذا فان مبدأ النسبية يبين ان التناسب الزمنى بين الحوادث يمكن أن يكون أحد انواع ثلاثة : اكثر تبكيرا على الاطلاق ، أكثر تأخرا على الاطلاق ، و « لا قبل ولا بعد » ، وبمعنى أدق « قبل او بعد » ويتوقف ذلك على المختبر الذى تجرى منه مراقبة هذه الحوادث .

الفصل الخامس

الساعات والمساطر متقلبة الاطوار

لنستقل القطار من جديد

سكة حديدية طويلة جدا ، يسير عليها قطار آينشتاين ، وهناك محطتان تبعد إحداهما عن الأخرى بمسافة ٨٦٤ ٠٠٠ ٠٠٠ كم . ان قطار آينشتاين يحتاج إلى ساعة واحدة لاجتياز هذه المسافة إذا كانت سرعته تعادل ٢٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية .

لنفرض وجود ساعة فى كل محطة ، وقد استقل سائح عربة من عربات هذا القطار فى المحطة الأولى ، وضبط ساعته اليدوية تبعا لساعة المحطة قبيل انطلاق القطار . فما أن وصل إلى المحطة الثانية حتى لاحظ مندهشا أن ساعته قد تأخرت .

وكانوا قد أكدوا للسائح ، فى ورشة تصليح الساعات ، أن ساعته اليدوية مضبوطة تماما .

فما هو الامر ؟

لتوضيح الامر ، نتصور أن المسافر يوجه شعاع ضوء ، من مصباحه اليدوى الموضوع على أرض العربة ، إلى السقف ، حيث توجد مرآة يقع عليها الشعاع ، فينعكس عائدا الى المصباح . إن مسار الشعاع ، كما يراه راكب العربة ، مبين فى الرسم الموجود فى صفحة ٤٦ . أما بالنسبة للمراقب الواقف على الرصيف ، فانه يرى ذلك المسار بشكل آخر . ففى الوقت الذى يسير فيه شعاع الضوء من المصباح اليدوى الى المرآة ، فان مكانها سيتغير من جراء حركة القطار . وفى الوقت الذى سينعكس فيه الشعاع ، فان موضع المصباح سيتغير بنفس المسافة .

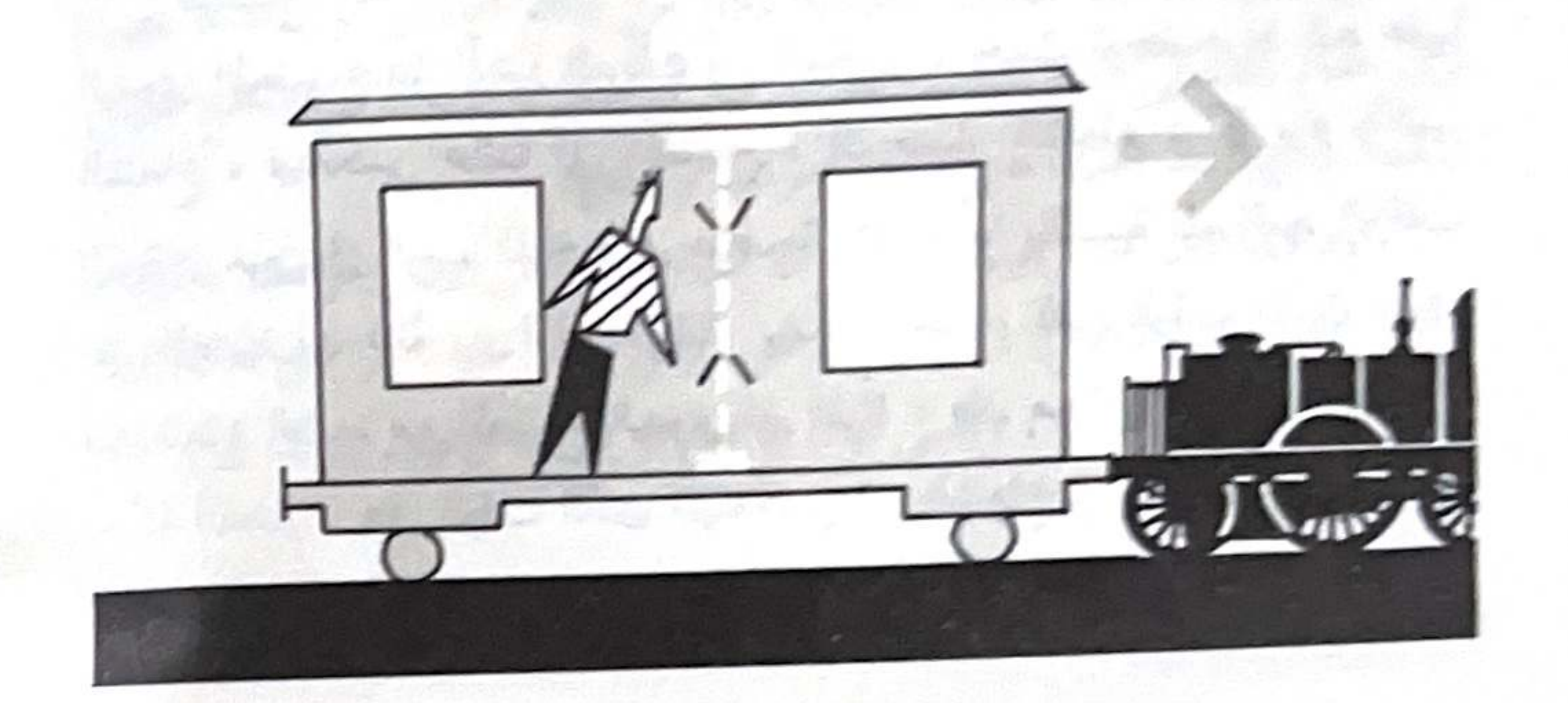
وهكذا فاننا نجد ان الضوء بالنسبة للواقفين على الرصيف ، قد قطع مسافة أكبر ، مما هى عليه بالنسبة للمراقبين الجالسين فى القطار . هذا من جهة ، ومن جهة أخرى ، فاننا نعرف ان سرعة الضوء هى سرعة مطلقة ، متساوية بالنسبة للجالسين فى القطار ، وللواقفين على الرصيف ، على حد سواء ، الأمر الذى يجعلنا نتوصل الى الاستنتاج التالى : فى المحطة ، انقضى بين لحظة إرسال شعاع الضوء ولحظة عودته ، وقت أطول مما انقضى على ذلك فى القطار !

وليس من الصعب حساب نسبة الزمنين .

فلنفرض أنه اتضح للمراقب الواقف على الرصيف ، أنه قد انقضت عشر ثوان ، منذ لحظة إرسال الشعاع ولحظة عودته . وخلال هذه الثوانى العشر ، يكون الضوء قد اجتاز مسافة ٣٠٠ ٠٠٠ × ١٠ = ٣ ٠٠٠ ٠٠٠ كم . ومن هنا ينتج أن طول كل من الضلعين أب و ب جـ ، فى المثلث المتساوى الساقين ا ب جـ يبلغ ١ ٥٠٠ ٠٠٠ كم ، وأن الضلع أجـ يساوى ، كما هو واضح ، الطريق الذى اجتازه القطار خلال عشر ثوان ، أى ٢٤٠ ٠٠٠ × ١٠ = ٢ ٤٠٠ ٠٠٠ كم .

وليس من الصعب الآن ، تعيين ارتفاع عربة القطار ، وهو الارتفاع ب د فى المثلث أبجـ .

ولنتذكر أن مربع الوتر (أب) فى المثلث القائم الزاوية يساوى مجموع مربعى الضلعين القائمين (أد ، ب د) . وهكذا يمكننا ان نحصل من المعادلة



$اب^{٢} = اد^{٢} + ب د^{٢}$ ، وهو على ارتفاع عربة القطار ،
$ب د = \sqrt{اب^{٢} - اد^{٢}} = \sqrt{١٥٠٠ ٠٠٠^{٢} - ١٢٠٠ ٠٠٠^{٢}} = ٩٠٠ ٠٠٠$ كم .

ياله من ارتفاع هائل ! غير أن هذا ليس بشيء مدهش ، إذا ما أخذنا فى الاعتبار الأبعاد الخيالية لقطار آينشتاين .

إن الطريق الذى قطعه الشعاع من الأرض الى سقف عربة القطار ، ذهابا وإيابا ، يعادل بالنسبة للمسافر ، ضعف الارتفاع ، أى $٩٠٠ ٠٠٠ \times ٢ = ١٨٠٠ ٠٠٠$ كم . ولقطع هذا الطريق يحتاج شعاع الضوء الى $\frac{١٨٠٠ ٠٠٠}{٣٠٠ ٠٠٠} = ٦$ ثوان .

الساعة تتأخر بصورة مستمرة

وهكذا فعندما انقضت ١٠ ثوان فى المحطة ، انقضت فى القطار ٦ ثوان فقط . أى إذا وصل القطار ، حسب توقيت المحطة ، بعد ساعة من انطلاقه ، فانه حسب ساعة المسافر ، يصل بعد فترة زمنية قدرها $٦٠ \times \frac{٦}{١٠} = ٣٦$ دقيقة من انطلاقه . وبعبارة أخرى ، فان ساعة المسافر تأخرت عن ساعة المحطة بأربع وعشرين دقيقة خلال ساعة واحدة .

وليس من الصعب إدراك أن تأخر الساعة سيزداد ، كلما ازدادت سرعة القطار .

وبالفعل ، فكلما اقتربت سرعة القطار من سرعة الضوء ، كلما اقترب ضلع المثلث القائم الزاوية ، اد ، الذى يمثل الطريق الذى اجتازه القطار ، من الوتر اب ، الذى يمثل الطريق الذى قطعه الضوء خلال نفس الوقت . ونتيجة لذلك ستقل النسبة بين طول ضلع المثلث القائم الزاوية ب د والوتر اب . ولكن هذه النسبة ، هى عبارة عن نسبة الفترة الزمنية فى القطار ، إلى الفترة الزمنية فى المحطة . فكلما عملنا على تقريب سرعة القطار من سرعة الضوء ، يمكننا خلال ساعة زمنية بتوقيت المحطة ، الحصول على فترة زمنية متناهية فى الصغر ، داخل القطار . وهكذا فاذا كانت سرعة القطار تعادل ٩٩٩٩ر٠ من سرعة الضوء ،

فستنقضى فى القطار ، دقيقة واحدة فقط خلال ساعة كاملة بتوقيت المحطة !

إذا ، فان كافة الساعات المتحركة تتأخر عن الساعات الساكنة . أفلا تناقض هذه النتيجة مبدأ نسبية الحركة الذى استندنا إليه ؟

أفلا يعنى هذا ، أن الساعة التى تسبق كافة الساعات الأخرى ، تكون فى حالة سكون مطلق ؟

كلا ، لأن مقارنة الساعة الموجودة فى القطار مع ساعة المحطة ، قد تمت فى ظروف غير متساوية على الاطلاق إذ لم تكن هناك ساعتان فقط ، بل ثلاث ساعات ! وكان الراكب يقارن ساعته بساعتين مختلفتين فى محطتين مختلفتين . وبالعكس ، فلو كانت هناك ساعتان فى عربتى القطار الأولى والأخيرة ، فان المراقب فى إحدى المحطتين إذ يقارن عقارب ساعة المحطة بعقارب الساعتين من خلال نوافذ القطار الذى يمر به ، سيكتشف أن ساعة المحطة تتأخر بصورة مستمرة .

وفى هذه الحالة وعند حركة القطار حركة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة للمحطة ، يحق لنا أن نعتبر القطار ساكنا والمحطة متحركة . إذ يجب أن تتساوى جميع قوانين الطبيعة فى المحطة وفى القطار .

إن كل مراقب ثابت بالنسبة لساعته ، سيرى أن عقارب الساعات الأخرى المتحركة بالنسبة له ، تسرع فى دورانها ، كلما ازدادت سرعة حركة تلك الساعات .

وهذه الحالة مشابهة لتلك الحالة التى أصبح يؤكد فيها كل من المراقبين الواقفين عند عمودى تلغراف ، أن زاوية إبصار عموده ، أكبر من زاوية إبصار العمود الآخر .

آلة الزمن

فلنتصور الآن ، أن قطار آينشتاين لا يتحرك على خط مستقيم ، بل على سكة حديدية دائرية ، عائدا بعد مضى وقت معين إلى محطة الانطلاق . لقد اتضح لنا أن الراكب سيكتشف ، فى هذه الحالة ، أن ساعته تتأخر ، وتزداد

تأخراً ، كلما ازدادت سرعة حركة القطار . فعند ازدياد سرعة قطار آينشتاين السائر على السكة الحديدية الدائرية ، يمكننا أن نستنتج أنه عندما يمضى يوم واحد بالنسبة للمسافر تمضى عدة سنوات بالنسبة لناظر المحطة . وعندما يعود مسافرنا (حسب ساعته !) بعد يوم الى بيته عند محطة الانطلاق على السكة الحديدية الدائرية سيفاجأ بأن جميع أقاربه ومعارفه قد قضوا نحبهم منذ زمن طويل .

وخلافاً للسفر بين محطتين ، عندما كان المسافر يضبط ساعته تبعاً لساعات مختلفة ، فهنا فى حالة الطريق الدائرى ، يقوم المسافر بمقارنة عقارب ساعتين فقط ، وليس ثلاث ساعات : هاتان الساعتان هما ساعة القطار ، وساعة محطة الانطلاق .

ألا يناقض هذا مبدأ النسبية ؟ وهل يمكننا ان نعتبر المسافر ساكنا ومحطة الانطلاق ، تتحرك على خط دائرى بنفس سرعة قطار آينشتاين ؟ لو كان الأمر كذلك ، لوجدنا أنه سينقضى يوم واحد ، بالنسبة للموجودين فى المحطة ، وسنوات عديدة ، بالنسبة للمسافرين . ولكن هذا التصور غير صحيح ، وذلك للأسباب التالية :

لقد سبق وأوضحنا ، أنه يمكننا أن نعتبر الجسم ساكنا ، فقط فى تلك الحالة ، عندما لا تؤثر عليه أية قوة . وليست هناك فى الواقع حالة « سكون » واحدة ، بل هناك عدد لانهائى من هذه الحالات . كما أن أى جسمين ساكنين ، يمكنهما أن يتحركا بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، بالنسبة لبعضهما البعض . وتؤثر على الساعة الموجودة فى قطار آينشتاين ، الذى يسير على سكة حديدية دائرية ، قوة طاردة مركزية ، ولذا لا يمكن بتاتا أن نعتبر هذه الساعة ساكنة . وفى هذه الحالة ، يكون الفرق بين ما تشير إليه ساعة المحطة الساكنة وساعة قطار آينشتاين ، فرقا مطلقا .

وإذا افترق رجلان ، يحملان ساعتين تشيران إلى نفس الوقت ، ثم تقابلا من جديد بعد مضى فترة زمنية معينة ، فان ساعة الرجل الساكن أو المتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، تشير الى مضى فترة زمنية أطول او بمعنى

آخر تشير الساعة التى لم تؤثر عليها أية قوة الى مضى فترة زمنية أطول .

إن السفر على السكة الحديدية الدائرية ، بسرعة تقرب من سرعة الضوء ، يعطينا إمكانية مبدئية لتحقيق « آلة الزمن » التى ذكرها ويلز فى إحدى قصصه ، ولو الى درجة محدودة : فعند خروجنا مرة ثانية الى محطة الانطلاق ، سنجد أنفسنا فى مستقبل الزمن . وفى الواقع ، فانه يمكننا أن نسافر بمثل آلة الزمن هذه ، إلى المستقبل ، غير أننا لا نستطيع العودة الى الماضى ، وهذا هو الفارق الأساسى بين آلة الزمن هذه وآلة الزمن الذى ذكرها ويلز .

ومن العبث حتى مجرد التفكير فى أن تطور العلوم فى المستقبل ، سيمكننا من السفر الى الماضى ، وإلا فسنكون مضطرين فى هذه الحالة الى اعتبار بعض الأوضاع غير المعقولة ، ممكنة التحقيق مبدئيا . فى الواقع ، فاذا ما سافرنا الى الماضى ، فمن الممكن أن نجد أنفسنا فى وضع مستحيل ، كوضع الانسان الذى يرى النور فى الوقت الذى لم يره والداه بعد .

أما السفر الى المستقبل ، فيحمل فى طياته تناقضات ظاهرية فقط .

رحلة الى النجوم

توجد فى السماء نجوم ، تبعد عنا ، مثلا ، بمسافة يمكن أن يجتازها شعاع الضوء خلال ٤٠ سنة . وبما أننا نعلم أنه لا يمكن التحرك بسرعة تزيد على سرعة الضوء ، نتوصل إذن إلى النتيجة التالية : لا يمكننا أن نصل الى مثل هذه النجوم فى فترة زمنية تقل عن أربعين سنة . غير أن هذه النتيجة خاطئة ، وذلك لاننا لم نأخذ بعين الاعتبار تغير الزمن الناشئ عن الحركة .

نفرض أننا ننطلق إلى هذا النجم ، على متن صاروخ آينشتاين ، بسرعة قدرها ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية . وهذا يعنى أننا سنصل إلى النجم ، بعد مضى

$$\frac{٣٠٠٠٠٠ \times ٤٠}{٢٤٠٠٠٠} = ٥٠$$ سنة ، بالنسبة لسكان الأرض .

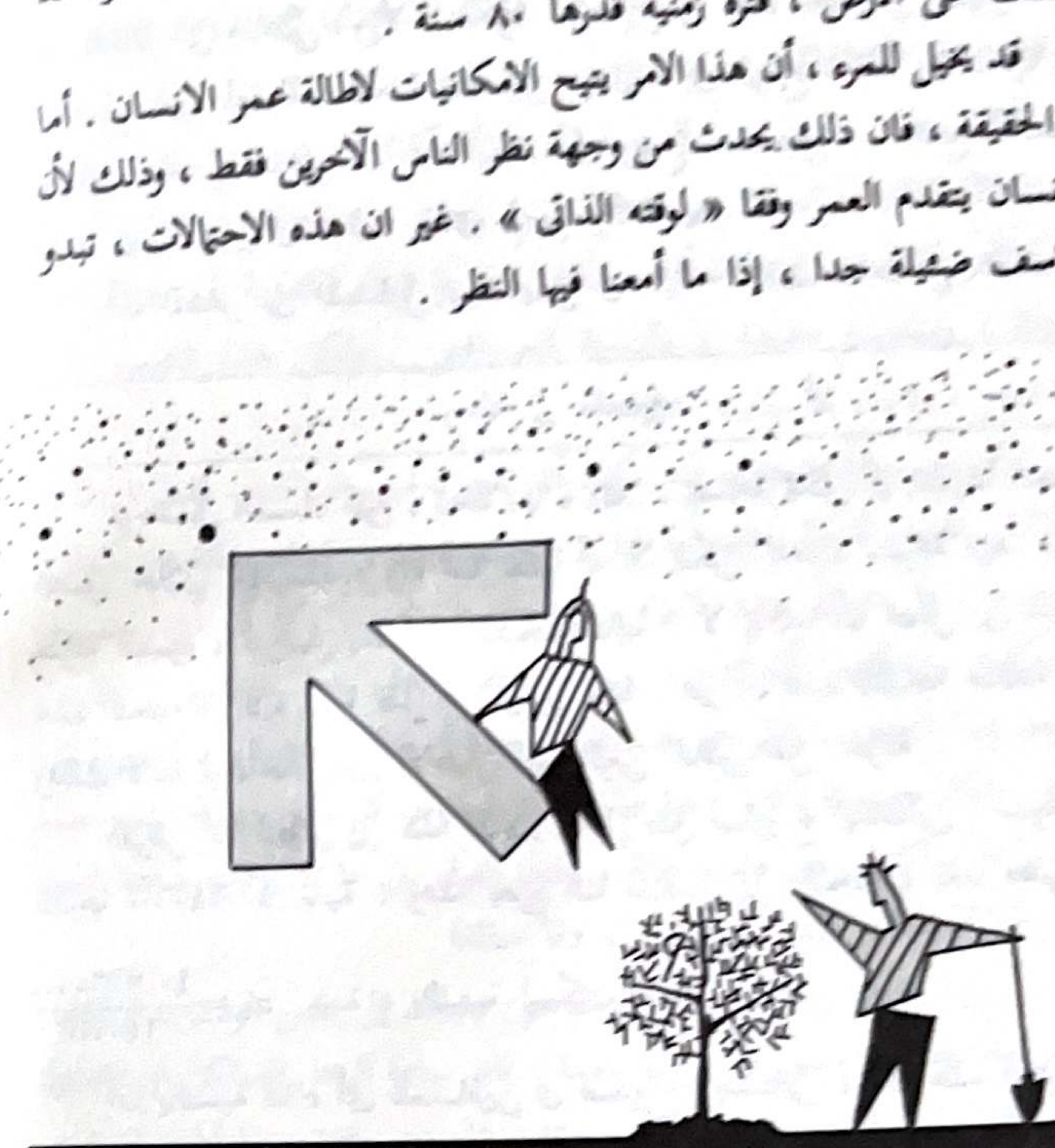
أما بالنسبة لنا ، أى للمسافرين فى صاروخ آينشتاين ، فان هذه الفترة الزمنية ستقل بنسبة ١٠ الى ٦ ، إذا بلغت سرعة الصاروخ ٢٤٠٠٠٠



كم/ثانية . أى أننا سنصل الى النجم ليس بعد ٥٠ سنة بل بعد مضى ٦/١٠ × ٥٠ = ٣٠ سنة فقط .

وكلما ازداد اقتراب سرعة صاروخ آينشتاين من سرعة الضوء كلما أمكننا أن نختصر – كما نشاء – الفترة الزمنية ، التى يحتاجها المسافرون ، للوصول الى مثل هذا النجم الموغل فى البعد . ويمكننا نظريا ، فى حالة السفر بسرعة كبيرة الى حد كاف ، أن نصل الى هذا النجم ، وأن نعود منه الى الأرض مرة اخرى ، خلال فترة زمنية لا تتعدى دقيقة واحدة ! ورغم هذا ، فستكون قد انقضت على الأرض ، فترة زمنية قدرها ٨٠ سنة .

قد يخيل للمرء ، أن هذا الامر يتيح الامكانيات لاطالة عمر الانسان . أما فى الحقيقة ، فان ذلك يحدث من وجهة نظر الناس الآخرين فقط ، وذلك لأن الانسان يتقدم العمر وفقا « لوقته الذاتى » . غير ان هذه الاحتمالات ، تبدو للأسف ضئيلة جدا ، إذا ما أمعنا فيها النظر .



ولنبدأ من واقع أن جسم الانسان لا يتحمل الاقامة لمدة طويلة ، تحت تأثير عجلة تزيد زيادة كبيرة على عجلة الجاذبية الأرضية . ولذا فلكى نصل الى سرعة قريبة من سرعة الضوء ، فاننا نحتاج الى فترة زمنية طويلة جدا . وتشير الحسابات الدقيقة إلى أننا نستطيع أن نوفر من الوقت شهرا ونصف فقط ، وذلك عند السفر لمدة نصف سنة بعجلة تساوى عجلة الجاذبية الأرضية . وإذا ما أطلنا مدة السفر ، فسيزداد ربح الوقت بسرعة كبيرة . مثلا ، إذا سافرنا على متن صاروخ لمدة سنة ، يكون باستطاعتنا أن نربح – إضافيا – سنة ونصف من الوقت . وإذا استغرقت رحلتنا سنتين ، فاننا سنربح ٢٨ سنة كذلك . أما خلال ثلاث سنوات من إقامتنا فى الصاروخ ، فسيمر على الأرض أكثر من ٣٦٠ سنة !

ربما وجدنا فى هذه الأرقام العزاء الكافى .

أما فيما يتعلق بالطاقة المستهلكة ، فان الامر أسوأ . وذلك لأن الصاروخ المتحرك الذى يزن وزنا متواضعا – طنا واحدا – يستهلك عند السفر بسرعة



٣٦٠ .... كم/ثانية (هذه السرعة ضرورية لـ « مضاعفة » الوقت ، أى لكى تمر ستتان على الأرض ، مقابل كل سنة تمر على السفر فى الصاروخ)، طاقة قدرها .... ٢٥٠ كيلوواط/ساعة . إن هذه الكمية من الطاقة تعادل الطاقة المنتجة على الكرة الأرضية بأجمعها خلال عدة سنوات .

غير أننا قد حسبنا فقط الطاقة التى يستهلكها الصاروخ أثناء السفر ، ولم نأخذ فى الاعتبار أنه يجب علينا مقدما أن تصل بسرعة صاروخنا إلى ٣٦٠ .... كم/ثانية ! كما يجب علينا ، عند انتهاء السفر ، أن نفرمل الصاروخ ، كى يستطيع الهبوط على الأرض بسلام . فما مقدار الطاقة اللازمة لذلك ؟

وحتى إذا كان لدينا من الوقود ما يكفى لتزويدنا بسيل يتدفق من المحرك النفاث بأكبر سرعة ممكنة – أى بسرعة الضوء ، فان هذه الطاقة يجب أن تزيد بمائتى مرة على الكمية التى سبق حسابها ، أى كان يجب علينا أن تستهلك من الطاقة ما تنتجه البشرية خلال عدة عشرات من السنين . أما السرعة الحقيقية للسيل المتدفق من محركات الصاروخ فانها تقل عن سرعة الضوء بعشرات الألوف من المرات ، الأمر الذى يجعل استهلاك الطاقة اللازمة لسفرتنا الخيالية هائلا إلى حد لا يصدق .

الأشياء تختصر

لقد اقتنعنا ، لتونا ، بأن الوقت قد فقد مفهومه المطلق ، فللوقت مفهوم نسبى يتطلب إشارة دقيقة الى المختبرات التى يجرى فيها القياس .

ونعود الآن مرة أخرى ، الى دراسة الفراغ . لقد اتضح لنا قبل وصف تجربة مايكلسون ، أن الفراغ مفهوم نسبى . ولكن رغم نسبية الفراغ ، كنا نعتبر أن لمقاييس الأجسام طابعا مطلقا . أى أننا كنا نعتبر أن هذه المقاييس من خصائص هذه الأجسام ، ولذا لا تتوقف على المختبر الذى تجرى فيه المراقبة . غير أن نظرية النسبية تحملنا على التخلى عن هذا الاعتقاد أيضا . إن هذا

الاعتقاد كمفهوم الزمن المطلق ، هو مجرد رأى خاطئ ، ناشئ بسبب تعاملنا دائما مع سرع صغيرة جدا بالمقارنة مع سرعة الضوء .

ولنتصور أن قطار آينشتاين يمر برصيف محطة طوله ٢٤٠٠ .... كم . هل سيوافق على ذلك ، المسافرون فى قطار آينشتاين ؟ سيقطع القطار المسافة من أحد طرفى الرصيف الى الطرف الآخر ، حسبما تشير إليه ساعة المحطة ، فى مدى $\frac{٢٤٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠}$ = ١٠ ثوان . غير أن لدى المسافرين ساعاتهم التى سيجتاز القطار – بموجبها – المسافة الواقعة بين طرفى الرصيف فى فترة زمنية أقل . إننا نعلم أن هذا الوقت يعادل ٦ ثوان فقط . ونتيجة لذلك ، فان للمسافرين كل الحق فى استنتاج أن طول الرصيف ليس ٢٤٠٠ .... كم ، بل ٢٤٠ .... × ٦ = ١٤٤٠ .... كم .

إذن ، فاننا نرى أن طول الرصيف ، من وجهة نظر المراقب الساكن بالنسبة للرصيف ، أكبر مما هو عليه من وجهة نظر المراقب الذى يتحرك الرصيف بالنسبة له . إن كل جسم متحرك يختصر فى اتجاه حركته .

غير أن هذا الاختصار لا يدل أبدا على مطلقية الحركة . ويكفينا أن نكون فى موضع المراقب الثابت بالنسبة للجسم ، حتى يزداد الجسم طولا من جديد . ويحدث نفس الشىء مع المسافرين الذين سيجدون أن الرصيف قد اختصر ، أما الواقفون على الرصيف ، فسيبدو لهم أن قطار آينشتاين قد اختصر (بنسبة ٦ : ١٠) .

وهذا ليس بخداع بصر ، بل أن كافة الأجهزة التى يمكن استخدامها لقياس طول الأجسام ، ستبين نفس الشىء .

وبعد أن علمنا أن الأشياء تختصر ، يجب أن نجرى الآن تعديلا على مناقشاتنا السابقة على الصفحة ٣٦ التى تتعلق بوقت فتح الأبواب فى قطار آينشتاين . فعندما حسبنا لحظة فتح الأبواب ، من وجهة نظر المراقبين الواقفين على رصيف المحطة ، اعتبرنا أن طول القطار المتحرك لن يختلف عن طول



القطار الثابت . بيد أن طول القطار قد اختصر بالنسبة للواقفين على الرصيف . ووفقا لذلك ، فان الفترة الزمنية الحقيقية بين فتح الأبواب مقاسة بساعة المحطة سوف لا تعادل ٤٠ ثانية ، بل $\frac{٦}{١٠} \times ٤٠ = ٢٤$ ثانية فقط .

وبالنسبة للاستنتاجات التى توصلنا اليها من قبل ، لا تكون لهذا التعديل أية اهمية .

السرع متقلبة الاطوار

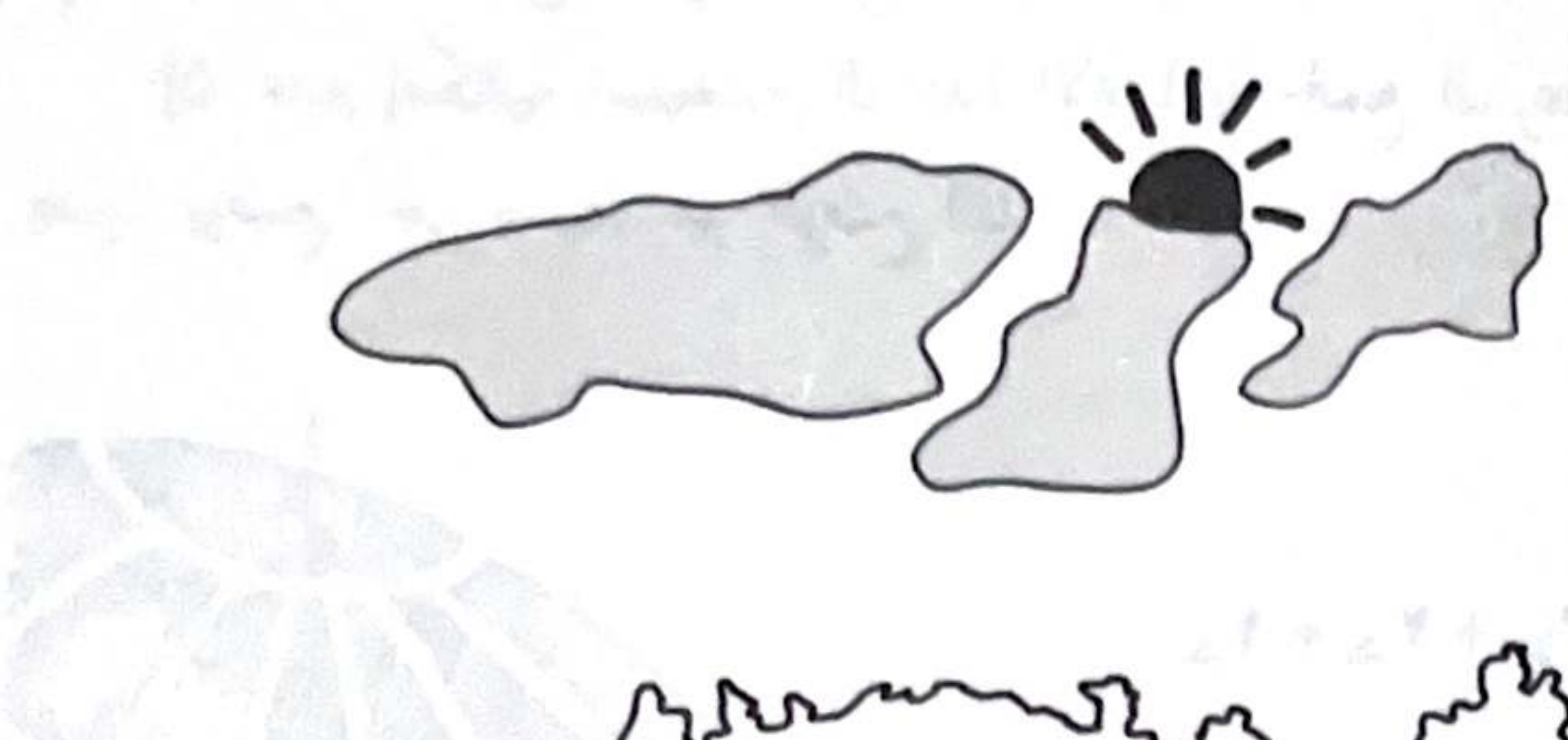
بأية سرعة يتحرك المسافر ، بالنسبة للسكة الحديدية ، إذا مشى نحو مقدمة القطار بسرعة ٥ كم /ساعة وكان القطار منطلقا بسرعة ٥٠ كم /ساعة ؟ من الواضح أن سرعة الانسان بالنسبة للسكة الحديدية تساوى ٥٠+٥=٥٥ كم /ساعة . إن هذا النقاش مبنى على قانون جمع السرع وليس لدينا أى شك فى صحة هذا القانون . فى الواقع ، سيقطع القطار خلال ساعة واحدة ٥٠ كم ، وسيقطع المسافر فى القطار خمسة كيلومترات أخرى . فالمجموع ٥٥ كم وهى المسافة التى ذكرناها سابقا .

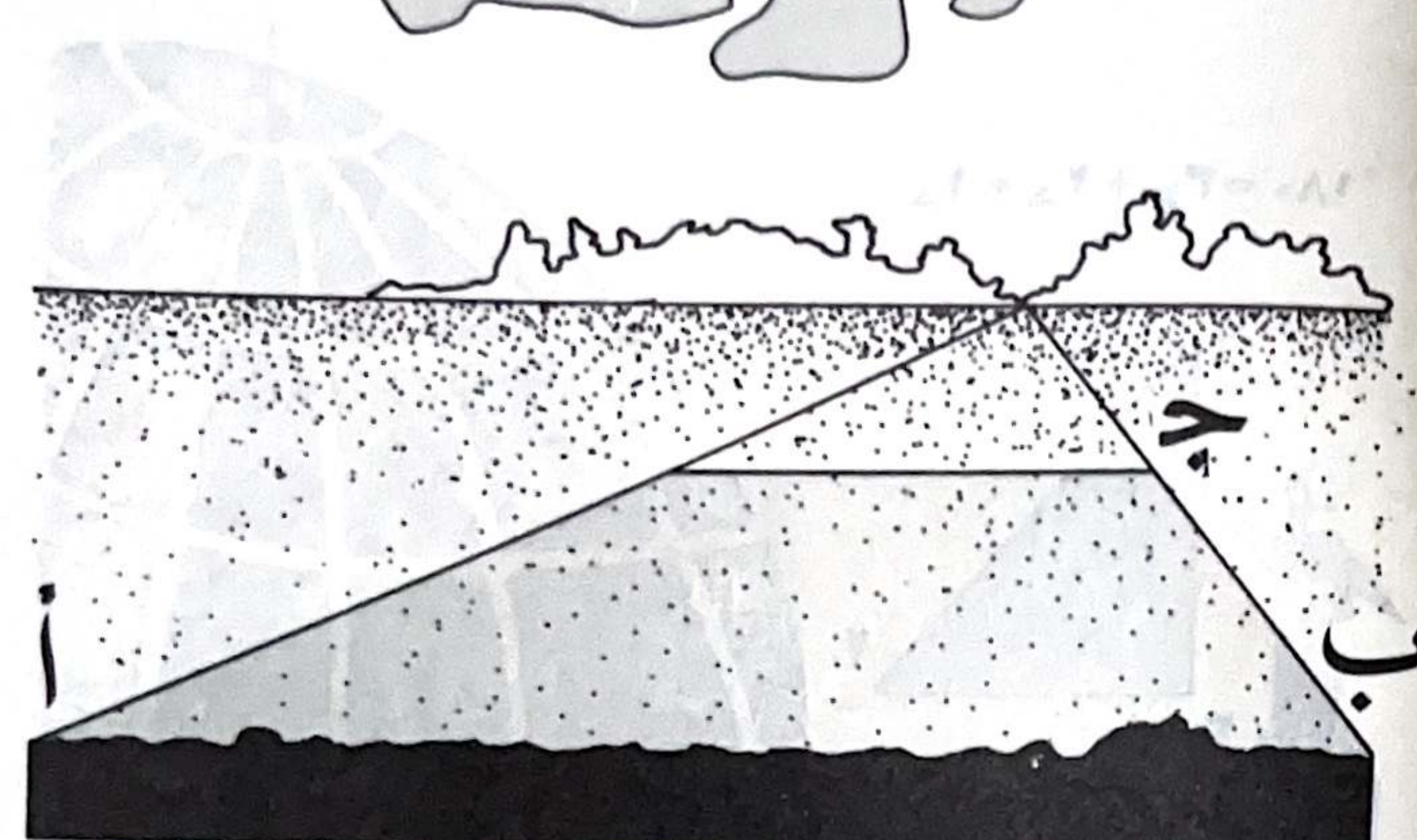
من المفهوم تماما أن وجود السرعة القصوى فى العالم يمنع الاستخدام الشامل لقانون جمع السرع ، فيما يتعلق بالسرع الكبيرة والصغيرة . فاذا كان المسافر يتحرك فى قطار آينشتاين بسرعة ١٠٠ ٠٠٠ كم /ثانية مثلا ، فان سرعة المسافر بالنسبة للسكة الحديدية لا يمكن أن تساوى ٢٤٠ ٠٠٠ + ١٠٠ ٠٠٠ = ٣٤٠ ٠٠٠ كم /ثانية ، لأن هذه السرعة أكبر من سرعة الضوء القصوى ، ولذا فان وجودها فى الطبيعة هو أمر مستحيل .

يتضح إذن أن قانون جمع السرع الذى نستخدمه فى حياتنا الاعتيادية ، غير دقيق . إنه عادل وصحيح فقط بالنسبة للسرع التى تقل كثيرا عن سرعة الضوء .

ان القارئ المعتاد على كافة التناقضات الظاهرية الموجودة فى نظرية النسبية

سيدرك بسهولة أسباب عدم مقبولية النقاش الذى قد يبدو واضحا ، والذى لتونا استنتجنا بموجبه قانون جمع السرع . ولهذا الغرض فقد جمعنا المسافة التى قطعها القطار خلال ساعة واحدة بالنسبة للسكة الحديدية ، مع المسافة التى قطعها المسافر فى القطار . غير أن نظرية النسبية تبين لنا أن هاتين المسافتين لا يمكن جمعهما . إن هذا التصرف سيكون تصرفا غير واقعى ، تماما كما لو وجدنا مساحة الحقل المبين فى الرسم المنشور على هذه الصفحة ، بضرب طول المستقيم أب فى طول المستقيم ب حـ متناسين أن طول الأخير لا يتفق والحقيقة نظرا لبعد مدى الرؤية . وبالاضافة الى ذلك ، فلتحديد سرعة المسافر بالنسبة للمحطة ، يجب علينا تحديد الطريق الذى قطعه خلال ساعة واحدة حسب توقيت المحطة . أما فيما يتعلق بتحديد سرعة المسافر فى القطار ، فيجب علينا





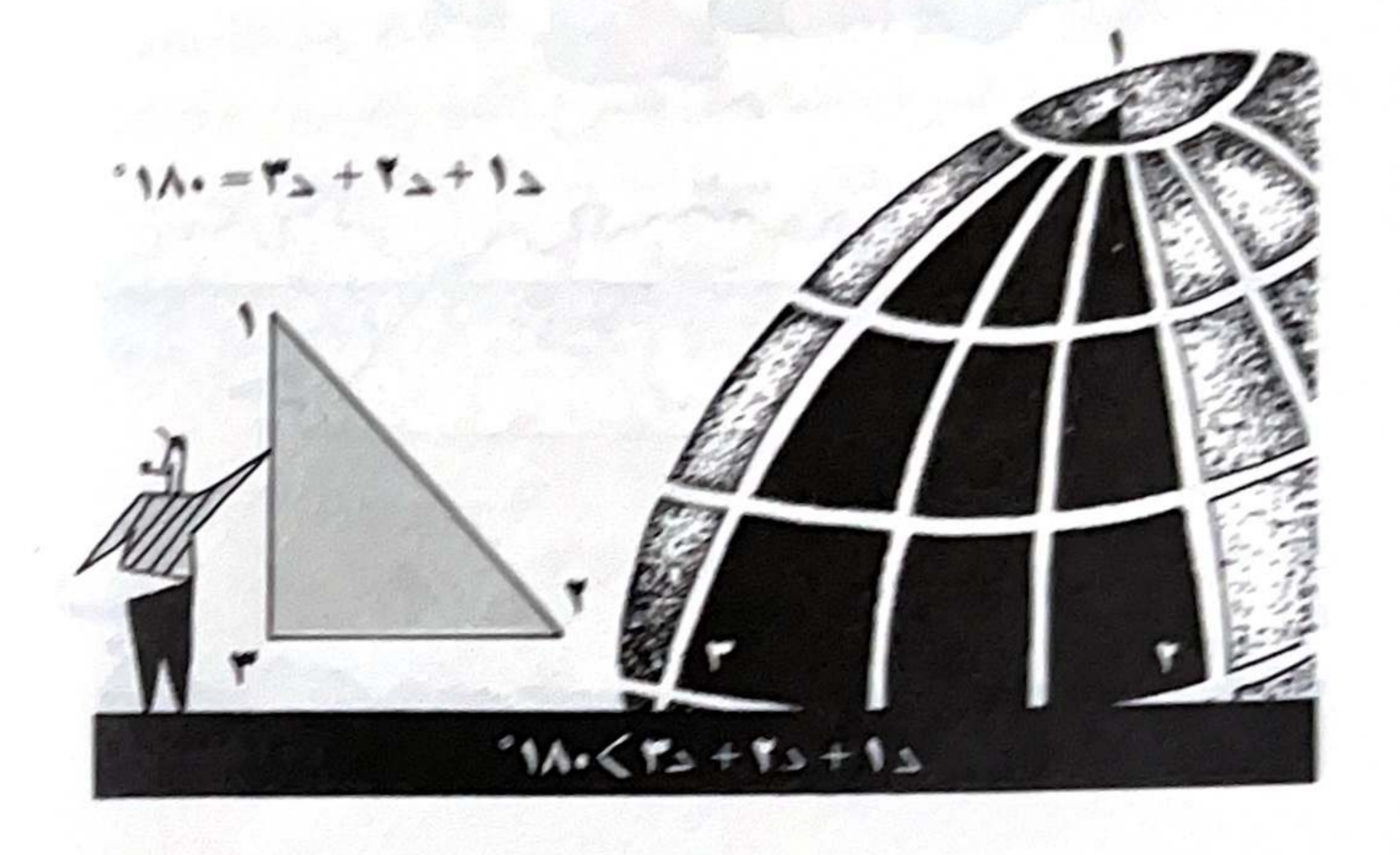


استخدام توقيت القطار . وهذان الأمران مختلفان كل الاختلاف كما اتضح لنا سابقا .

ومن كل ذلك يتضح أن السرعتين اللتين يمكن مقارنة إحداهما على الأقل بسرعة الضوء لا يمكن جمعهما بالطريقة التى اعتدنا على استخدامها . ويمكن بالتجربة التأكد من التناقض الظاهرى لجمع السرع بهذه الطريقة ، مثلا بمراقبة انتشار الضوء فى الماء المتحرك (كما ذكرنا سابقا) . أما كون سرعة انتشار الضوء فى الماء المتحرك لا تساوى مجموع سرعة الضوء فى الماء الثابت وسرعة حركة الماء ، بل هى أقل من هذا المجموع ، فهو نتيجة مباشرة لنظرية النسبية .

وينبغى الاشارة إلى حالة فريدة فى نوعها تظهر عند جمع السرعتين ، إذا كانت إحداهما تساوى ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية بالضبط . فهذه السرعة ، كما نعرف ، تمتاز بخاصية البقاء بدون تغيير مهما تحركت المختبرات التى تتم فيها المراقبة ، أو بالاحرى مهما كانت السرعة التى ستضيفها الى سرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية ، فستحصل بالنتيجة على نفس السرعة — ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية .

إن عدم إمكانية استخدام القاعدة الاعتيادية لجمع السرعتين يمكن أن يقارن بوضع آخر بسيط هو الوضع التالى :



من المعروف ان مجموع زوايا المثلث المستوى اب جـ (لاحظ الرسم الى اليسار) يعادل زاويتين قائمتين . لنتصور الآن أن المثلث مرسوم على سطح الأرض (لاحظ الرسم الى اليمين) . ونظرا لكروية الأرض فان مجموع زوايا هذا المثلث سيكون أكبر من مجموع الزاويتين القائمتين . وسيصبح هذا الفرق ملحوظا فقط فى الحالة التى يمكن فيها المقارنة بين أبعاد المثلث وأبعاد الأرض .

إذن يمكننا أن نستخدم القاعدة الاعتيادية لجمع السرع فى حالة السرع الصغيرة ، تماما كما يمكننا استخدام قواعد قياس المساحات لقياس المساحات الصغيرة من الأرض .



الفصل السادس

الشغل يغير الكتلة

الكتلة

لنفرض أننا نريد أن نجعل جسما ساكنا يتحرك بسرعة معينة . لذلك يجب أن نؤثر على هذا الجسم بقوة ما . ففى هذه الحالة إذا لم تؤثر على هذا الجسم أية قوة خارجية تعيق حركته كقوة الاحتكاك مثلا ، فإن الجسم سيتحرك بسرعة تتزايد تدريجيا . وبعد مضى فترة معينة من الزمن يصبح بوسعنا زيادة سرعة الجسم الى المقدار الذى نريده . وفى هذه الحالة نجد أنه لاكساب الأجسام المختلفة سرعة معينة تحت تأثير القوة المعطاة نحتاج إلى فترات زمنية مختلفة .

ولكى يمكننا إهمال الاحتكاك فلنتصور أنه لدينا كرتان متساويتان فى الحجم وموجودتان فى الفضاء الكونى ، إحداهما من الرصاص والأخرى من الخشب . وسنقوم بشد كل من هاتين الكرتين بقوة متساوية ، الى أن تكتسبا سرعة تعادل مثلا ١٠ كم/ساعة .

ومن البديهى أن الحصول على هذه النتيجة ، سيتطلب التأثير بالقوة المعطاة لفترة زمنية أطول بالنسبة للكرة الرصاصية مما يستغرقه تأثير نفس القوة على الكرة الخشبية . ويقال فى هذه الحالة إن للكرة الرصاصية كتلة أكبر من كتلة الكرة الخشبية . وما دامت السرعة تزداد عند تأثير قوة ثابتة على الجسم بازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة ، فإننا نعتبر أن مقياس الكتلة هو عبارة عن النسبة بين الفترة الزمنية اللازمة للوصول الى السرعة المعطاة ، ابتداء من حالة السكون ، وبين السرعة المذكورة بالذات . إن الكتلة تتناسب مع هذه النسبة ،

مع ملاحظة أن معامل التناسب يتوقف على مقدار القوة التى تكسب الجسم حركته .

الكتلة تتزايد

تعتبر الكتلة من أهم خواص أى جسم . وقد اعتدنا على ان كتلة الأجسام لا تتغير على الاطلاق ، وأنها لا تعتمد على السرعة . وهذا ناتج من التأكيد الذى ذكرناه فى البداية والقائل بان السرعة تتناسب فى حالة تأثير قوة ثابتة على الجسم ، تناسبا طرديا مع الفترة الزمنية لتأثير هذه القوة .

إن هذا التأكيد من جانبنا مبنى على القاعدة المعتادة لجمع السرع . غير أننا قد أثبتنا لتونا أنه لا يمكن استخدام هذه القاعدة فى جميع الحالات .

فماذا نفعل للتوصل الى السرعة المطلوبة عند انتهاء الثانية الثانية من بدء تأثير القوة ؟ إننا نجمع السرعة التى اكتسبها الجسم عند انتهاء الثانية الأولى مع السرعة التى اكتسبها خلال الثانية الثانية ونقوم بذلك طبقا للقاعدة المعتادة لجمع السرع .

ويمكننا القيام بذلك ما دامت السرعة المكتسبة لم تبلغ بعد حد مقارنتها بسرعة الضوء . أما إذا بلغت هذا الحد فلا يمكن استخدام هذه القاعدة القديمة . وإذا ما جمعنا السرعتين آخذين فى الاعتبار نظرية النسبية ، فلا بد لنا من التوصل الى نتيجة تكون دائما أقل من النتيجة التى نحصل عليها إذا ما استخدمنا قاعدة الجمع القديمة ، التى لا تصلح فى هذه الحالة . ومعنى هذا أنه فى حالة بلوغ السرعة حدا كبيرا فانها لن تزداد فى تناسب طردى مع ازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة على الجسم ، بل بصورة أبطأ . وهذا أمر مفهوم لأن هناك سرعة قصوى .

وكلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء ، فانها تزداد أبطأ فأبطأ ، عند تأثير القوة الثابتة عليها ، ذلك لأنه لا يمكن تعدى السرعة القصوى .

وما دمنا نستطيع التأكيد بان سرعة الجسم تزداد بازدياد الفترة الزمنية

لتأثير القوة على الجسم يكون فى وسعنا القول بان الكتلة لا تعتمد على مقدار سرعة الجسم . ولكن عندما تبلغ سرعة الجسم حدا يمكن مقارنته بسرعة الضوء ، فان التناسب بين الفترة الزمنية وسرعة الجسم يتلاشى وتبدأ الكتلة فى هذه الحالة بالاعتماد على السرعة . ولما كان زمن العجلة يزداد بلا حدود فى حين لا يمكن للسرعة أن تتعدى حدا معينا ، فاننا نرى أن الكتلة تزداد بازدياد السرعة حتى تبلغ مقدارا لانهائيا عندما تساوى سرعة الجسم سرعة الضوء .

وتبين الحسابات أن كتلة الجسم تزداد أثناء الحركة بنفس القدر الذى يتناقص به طوله أثناء تلك الحركة . وهكذا فان كتلة قطار آينشتاين الذى يتحرك بسرعة ٢٤٠ ٠٠٠ كم/ثانية ، أكبر من كتلة القطار الساكن بـ ١٠ : ٦ مرة .

ومن البديهى أنه فى حالة السرع المعتادة الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء ، بوسعنا أن نهمل تغير الكتلة تماما كما يمكننا إهمال ارتباط أبعاد الجسم بسرعته أو إهمال ارتباط الفترة الزمنية بين حادثين بالسرعة التى يتحرك بها مراقبو هذين الحادثين .

إننا نستطيع أن نتأكد من صحة اعتماد الكتلة على السرعة ، وهو الاعتماد الناتج من نظرية النسبية ، من التجربة المباشرة ، عندما نراقب حركة الالكترونات السريعة .

ففى الظروف التجريبية الحديثة ، لا يعتبر الالكترون المتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، شيئا نادرا ، بل هو ظاهرة اعتيادية . وهناك أجهزة خاصة لزيادة سرعة الالكترونات تزود فيها الالكترونات بسرعة تختلف عن سرعة الضوء بأقل من ٣٠ كم/ثانية .

وهكذا فان الفيزياء الحديثة قادرة على مقارنة كتلة الالكترونات المتحركة بسرعة هائلة ، بكتلة الالكترونات الساكنة . ولقد أكدت نتائج التجارب اعتماد الكتلة على السرعة ، وهو الأمر الذى يتفق ومبدأ نظرية النسبية .

إن ازدياد كتلة الجسم مرتبط كل الارتباط بالشغل المبذول عليه : ويتناسب هذا الازدياد تناسبا طرديا مع مقدار الشغل اللازم لاكساب الجسم حركته . وليست هناك حاجة ، فى هذه الحالة ، لبذل شغل لمجرد إكساب الجسم حركته . فان كل شغل يبذل على الجسم وكل ازدياد فى طاقته يزيد من كتلته . ولهذا فان الجسم الساخن له كتلة أكبر من كتلة الجسم البارد ، كما أن للزنبرك المضغوط كتلة أكبر من كتلة الزنبرك الحر . وفى الحقيقة فان معامل التناسب بين تغير الكتلة وتغير الطاقة صغير جدا : لكى نزيد كتلة الجسم جراما واحدا يجب أن نزوده بطاقة تبلغ ٢٥ مليون كيلوواط ساعة . ولذلك فان تغير كتلة الجسم فى الظروف الاعتيادية ضئيل جدا ولا يمكن ملاحظته حتى بالأجهزة الدقيقة . مثلا تسخين طن من الماء ، من درجة الصفر حتى درجة الغليان ، سيؤدى إلى زيادة كتلة الماء بما يقارب خمسة أجزاء من المليون من الجرام .

وإذا ما أحرقنا طنا من الفحم فى فرن مغلق ، فستكون لنواتج الاحتراق ، بعد تبريدها ، كتلة تقل عن كتلة الفحم والاكسيجين اللذين تكونت منهما بواحد من ثلاثة آلاف من الجرام . أما نقص الكتلة هذا فيرجع إلى الحرارة التى فقدت أثناء احتراق الفحم .

غير أن الفيزياء الحديثة مطلعة على ظواهر يلعب فيها تغير كتلة الجسم دورا كبيرا . منها مثلا الظاهرة التى تحدث عند اصطدام النويات الذرية ، أى الظاهرة التى تتكون خلالها نويات جديدة من النويات الموجودة . مثلا عن اصطدام نواة ذرة الليثيوم بنواة ذرة الهيدروجين تتكون ذرتان من الهيليوم ، وعند ذلك تتغير الكتلة بمقدار $\frac{١}{٤٠٠}$ من قيمتها الأولية .

وقد سبق وذكرنا أنه لزيادة كتلة الجسم جراما واحدا ، ينبغى أن نزوده بطاقة تعادل ٢٥ مليون كيلوواط ساعة . وينتج من ذلك أنه عند تحويل جرام

واحد من خليط الليثيوم والهيدروجين الى هيليوم ، يتحرر قدر من الطاقة أقل بـ٤٠٠ مرة ، أى : $\frac{٢٥ ٠٠٠ ٠٠٠}{٤٠٠}$ = ٦٠ ٠٠٠ كيلوواط ساعة !

ونجيب الآن على السؤال التالى : ما هى أغلى المواد الموجودة فى الطبيعة (بموجب الوزن) ؟

لقد اتفق على اعتبار الراديوم أغلى المواد ، إذ أن الجرام الواحد منه يكلف حوالى ربع مليون روبل .

ولكن ، لنحدد الآن ثمن ... الضوء .

فى المصابيح الكهربائية يتحول $\frac{١}{٢٠}$ فقط من الطاقة الى ضوء مرئى .

ولهذا فان جرام الضوء يعادل كمية من الشغل تزيد بـ ٢٠ مرة على ٢٥ مليون كيلوواط ساعة ، اى ٥٠٠ مليون كيلوواط ساعة . فاذا اعتبرنا ان ثمن الكيلوواط ساعة الواحد هو كوبيك * واحد ، سنجد ان ثمن الجرام من الضوء هو ٥ ملايين روبل . وهكذا فان الجرام الواحد من الضوء أغلى من جرام الراديوم بعشرين مرة .

* الكوبيك هو اصغر وحدة نقدية فى العملة السوفييتية ويساوى $\frac{١}{١٠٠}$ من الروبل .

الخلاصة

وهكذا ، فإن التجارب الدقيقة المقنعة تحملنا على الاعتراف بصحة نظرية النسبية التى تكشف عن الخواص المدهشة للعالم المحيط بنا ، تلك الخواص التى لا يمكن ملاحظتها عند دراسة الاشياء دراسة أولية ، أو بالأحرى دراسة سطحية .

لقد اطلعنا على التغيرات الجوهرية العميقة التى تدخلها نظرية النسبية على المفاهيم والتصورات الأساسية التى تكونت لدى البشرية خلال قرون نتيجة لتجربة الحياة اليومية .

أفلا يعنى هذا انهيار التصورات الاعتيادية تماما ؟

أفلا يعنى هذا ان الفيزياء التى وجدت قبل ظهور مبدأ النسبية ، تشطب وتنبذ كحذاء قديم أكل الدهر عليه وشرب ؟

لو كان الأمر كذلك لكان من العبث القيام بالأبحاث العلمية ، لأنه لا يمكن للمرء أن يكون متأكدا تماما من أنه لن يظهر فى المستقبل علم جديد ينبذ العلم القديم على الاطلاق .

ولنتصور أن مسافرا لا فى قطار آينشتاين بل فى قطار ركاب عادى أو حتى فى قطار سريع ، أراد أن يجرى تعديلا فى توقيت ساعته ، آخذا بعين الاعتبار نظرية النسبية ، خشية أن تتأخر ساعته عن ساعة المحطة . فلو حاول هذا المسافر القيام بذلك فعلا ، لضحكنا منه . إن هذا التعديل فى الواقع ليس إلا جزءا ضئيلا تافها من الثانية ، فحتى مجرد اهتزاز القطار يؤثر أكثر من ذلك بكثير على ادق الساعات .

ان المهندس الكيميائى الذى يسأل نفسه هل تتغير كتلة الماء عند التسخين أم لا ، هو مهندس فى تفكيره خلل . أما فيما يتعلق

بالفيزيائى الذى يراقب اصطدام نويات الذرة ، ولا يأخذ فى الاعتبار تغير الكتلة عند التحولات النووية فيجب أن يطرد من المختبر لجهله .

إن المصممين يستخدمون دائما قوانين الفيزياء القديمة عند تصميم محركاتهم ، لأن التعديلات الناشئة عن نظرية النسبية ، تؤثر على مكناتهم أقل بكثير من تأثير الجرثوم الذى يحط على حداقة المكنة . أما الفيزيائى الذى يراقب الالكترونات السريعة ، فمن واجبه أن يأخذ فى الاعتبار تغير كتلة الالكترونات الناشئ عن تغير السرعة .

وهكذا فان نظرية النسبية لا تفند بل تعمق المفاهيم والتصورات التى كونتها العلوم القديمة ، وتعين الحدود التى يمكن فى نطاقها استخدام هذه المفاهيم القديمة حتى لا تؤدى الى نتائج غير صحيحة . فان جميع قوانين الطبيعة التى اكتشفها الفيزيائيون قبل ظهور نظرية النسبية ، لا تلغى ، بل تعين حدود استخدامها فقط .

إن العلاقة بين الفيزياء التى تأخذ فى الاعتبار نظرية النسبية ، والتى تسمى بالفيزياء النسبوية ، وبين الفيزياء القديمة التى يطلقون عليها اسم الفيزياء الكلاسيكية (التقليدية)، تشبه العلاقة بين علم الجيوديسيا الذى يأخذ فى الاعتبار كروية الأرض وبين علم المساحة التطبيقية الذى يهمل كروية الأرض . إن علم الجيوديسيا يجب ان يعتمد على نسبية مفهوم الخط الرأسى ، كما يجب أن تأخذ الفيزياء النسبوية فى الاعتبار نسبية مقاييس الجسم وفترات الزمن بين الحادثين ، مناقضة بذلك الفيزياء الكلاسيكية التى لا تأخذ فى الاعتبار هذه النسبية .

وكما أن علم الجيوديسيا هو تطور لعلم المساحة التطبيقية ، فان الفيزياء النسبوية هى تطور وتوسع للفيزياء الكلاسيكية .

ويمكننا الانتقال من معادلات علم الهندسة الكروية ، أى علم الهندسة على السطح الكروى ، الى معادلات علم الهندسة المستوية ، أى علم الهندسة على السطح المستوى ، اذا اعتبرنا أن نصف قطر الكرة الأرضية كبير الى ما لانهاية . ففى هذه الحالة لن تكون الأرض كروية ، بل سطحا

مستويا لا نهاية له . أما الخط الرأسى فستكون له قيمته المطلقة ، ومجموع زوايا المثلث سيساوى بالضبط زاويتين قائمتين .

ويمكننا أن نجرى مثل هذا الانتقال فى الفيزياء النسبوية كذلك ، إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء هائلة الى ما لا نهاية ، أى أن الضوء ينتشر لحظيا .

فاذا كان الضوء فى الواقع ينتشر لحظيا ، فان مفهوم الآنية يصبح مفهوما مطلقا كما رأينا سابقا . وإن فترات الزمن بين الحوادث وأبعاد الأجسام تكتسب أيضا معنى مطلقا دون أن تؤخذ فى الاعتبار تلك الاعتبارات التى تتم فيها المراقبة .

اذن يمكن الاحتفاظ بجميع التصورات الكلاسيكية إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء لا نهاية لها .

غير أن كل محاولة للجمع بين سرعة الضوء المحدودة وبين الاحتفاظ بالمفاهيم القديمة عن الفراغ والزمن ستؤدى بنا الى التصرف بحماقة كما يتصرف الانسان الذى يعرف أن للارض شكلا كرويا ، ولكنه يثق مع ذلك فى أن الخط الرأسى للمدينة التى يعيش فيها هو خط رأسى مطلق ويخشى الابتعاد كثيرا عن محل إقامته لئلا يتهاوى فى الفضاء الكونى .



صفحات من مذكرات البروفيسور يورى رومر عن ليف لانداو

لا أريد أن أتطرق فى هذه الملاحظات القصيرة الى شرح الأبحاث العلمية الطليعية التى قام بها الأكاديمى ليف لانداو . فعلم الفيزياء النظرية المعاصر أصبح شيئا خارج منال غير المختصين ، أما القدرة على تبسيطه فهى موهبة خاصة لا يملكها الجميع . ولا أستطيع اعتبار نفسى أحد أصحاب هذه الموهبة ، بالرغم من تعاونى مع ليف لانداو فى تأليف كتاب « ما هى نظرية النسبية » .

وأتذكر التعبير الذى استخدمه لانداو نفسه من خلال وصفه المازح لهذا الكتاب حين قال : « ان اثنين من المحتالين يحاولان اقناع محتال ثالث بأن فى استطاعته أن يدرك – مقابل عدة قروش – ما هى نظرية النسبية ! » .

كذلك فان محاولة اعطاء غير الفيزيائيين فكرة ، ضمن اطار ملاحظات قصيرة ، عن الابداع العلمى للأكاديمى لانداو محاولة تعتمد على وسائل لا تصلح ، ويجب رفضها من البداية .

كما لا أود أن أضيف ولا حبة من شهادتى تأييدا لتلك الأسطورة الشائعة التى تصور لانداو كشخصية غريبة الأطوار أو ظريف من الظرفاء يدخل مؤتمر العلماء الموقرين وهو يرتدى صندلا وقميصا شعبيا . وربما يصح لى هنا ان أستعمل مصطلحا فيزيائيا وأقول ان مركز ثقل شخصية لانداو ليس فى أقواله المائلة الى ابراز التناقضات – مما يجعله يتحول الى أحد أصحاب النوادر – وانما فى واقع أنه كان من أعظم العلماء الفيزيائيين العالميين وقد أنشأ مدرسة بارزة من الفيزيائيين السوفييت .

• • •

فى قاعة المطالعة بجامعة لينينغراد يقف شاب فى الثامنة عشرة من عمره .. وخصلة من الشعر الأسود تتدلى على جبهته العريضة الجميلة .. لقد حصل لتوه على العدد الأخير من مجلة علمية المانية وفيه وجد أول مقال للعالم شرودينجر فى موضوع الميكانيكا الكمية تحت عنوان (التكمية كمسألة القيم الذاتية) . ولا يدرك الشاب أن لحظة مجده قد اقتربت وأن هذه اللحظة ستحدد مستقبله تحديدا قاطعا .

لم يفهم فى المقال كل شىء .. وكان يتذكر فيما بعد انه فى ذلك الحين لم يكن يتصور بوضوح كامل جوهر الحساب التغايرى مع أنه كان قد حل جميع الأمثلة من مجموعة المسائل فى حساب التفاضل والتكامل .

ورغم ذلك فهو تمكن بعد بذل جهد جرىء من قراءة واستيعاب هذا المقال الذى كان – على حد اعترافه فيما بعد – قد أثر فى نفسه بنفس ذلك التأثير المذهل الذى تركته فيه نظرية النسبية .

وقد تلى مقال شرودينجر الأول مقال آخر .. وسرعان ما علم الشاب أنه الى جانب الميكانيكا الموجية لشرودينجر تتطور فى مكان آخر ميكانيكا المصفوفات التى تنطلق من أفكار تبدو للوهلة الأولى منافية تماما لأفكار شرودينجر .

لقد اتضحت المسألة أخيرا فى اليوم الذى وقع فيه بين يدى الشاب مقال شرودينجر الجديد الذى أثبت فيه تكافوء كلا وجهى الميكانيكا ، أى الميكانيكا الموجية وميكانيكا المصفوفات . بعد ذلك أدرك الشاب أنه قد وجد طريقه فى الحياة ...

كالعادة يتعلم العالم الناشئ أسس العلم الذى يختاره ، على يد عالم آخر أكبر منه سنا وخبرة . أما ليف لانداو فلم يكن لديه من يعلمه ميكانيكا الكم . ذلك ليس لعدم توفر معلمين مؤهلين ، انما لعدم وجود ميكانيكا الكم نفسها فى ذلك الحين ! وكان عليه أن يتوصل الى كل شىء بنفسه ... وقد تجسدت انطباعاته عن تلك الأيام فى كراهيته للرأى التقليدى الذى



يصور العالم الحقيقى معاودا الوقوف على سلم عند الرف العلوى لمكتبته الشخصية .. وكان لانداو يقول : « انك لن تستخرج أبدا أى شىء جديد من الكتب الثخينة .. فالكتب الثخينة ما هى الا مقابر دفنت فيها أفكار الماضى » .

لقد ابتكر لانداو – فى مرحلة تعلمه الفريد فى نوعه حين كان يعلم نفسه بنفسه – طريقته الخاصة التى ظل مخلصا لها طيلة حياته : فقد كان يبتلع عددا هائلا من المجلات العلمية ، ولكنه فى كل مقال كان يهتم فقط بصياغة المسألة ثم ينظر الى نهاية المقال ليعرف الاستنتاجات تاركا بذلك ما فى وسط الشرح قائلا : « ان ما أحتاج اليه هو أن أعرف ماذا يفعل صاحب المقال .. أما كيفية العمل فأنا أعلم بها ! »

• • •

فى سنة ١٩٣٦ تقريبا بدأت تتشكل فى مدينة خاركوف مدرسة لانداو ..

وقد حضر أوائل التلاميذ .. وكانت صفتهم المميزة هى كونهم شبابا من نفس عمر لانداو أو أصغر منه سنا بقليل فقط . وكانوا يخاطبون معلمهم بالمفرد مثلما يخاطبون بعضهم . وكانت اجتماعاتهم أشبه بمقابلات عملية لطلبة متفوقين اجتمعوا ليناقشوا رسالة الليسانس ، منها بالدروس التى يشرف عليها عالم ذو شهرة عالية .

وكثيرا ما كان التلاميذ يدخلون فى جدالات مع معلمهم .. ولم يكن لانداو يفقد صبره أبدا وهو يجادل أكثر مخالفيه جرأة .. وفى بعض الأحيان كان يختم النقاش بقوله : « من المدرس هنا اذن .. أنا أم انت ؟ ليس من مهمتى البحث عن الخطأ فى استنتاجاتك .. وأفضل أن تجد أنت خطأ فى استنتاجاتى ... »

• • •

كانت مدرسة الفيزيائيين الجديدة تترعرع وتزداد قوة وتجذب الى لانداو أسرابا من الشباب من مختلف المؤهلات والأذواق . وكان لا بد للمشرق من أن

يعلم تصنيف طالبى العلم وتنقية الذين يتوخى منهم أن يصبحوا نظريين محترفين .

كان لانداو يعتقد أن احتراف الفيزياء النظرية أمر عديم الفائدة ما لم يسبقه الحصول على معارف عميقة راسخة . ومن ناحية أخرى فان النجاح فى دراسة الفيزياء مرهون – فى رأى لانداو – بالقدرة على التمييز بين الأشياء التى تستحق الدراسة وبين التى لا تستحقها .

كان لانداو يقول : « ان حياة الانسان قصيرة جدا فلا يجب أن يقدم على معالجة مشاكل لا أمل فى حلها .. وذاكرته محدودة أيضا .. ولذلك فكلما تكدست « الزبالة العلمية » فى دماغك ضاق المكان المتروك لأفكار عظيمة » ... كان يقول ذلك وهو يبتسم .

فى وسط ضيق من التلاميذ كان يجرى انتقاء الموضوعات فى الميكانيكا والديناميكا الكهربائية ونظرية النسبية والفيزياء الاحصائية وميكانيكا الكم ، وذلك فى اطار الحد الأدنى من المعارف الضرورية لكل من يحاول أداء عمل مثمر فى مجال الفيزياء النظرية .

هكذا ظهرت مادة الحد الأدنى النظرى .. وقد امتحن لانداو فيها تلاميذه الأوائل ، ثم بدأوا بدورهم فى اجراء الامتحانات للذين يرغبون فى الالتحاق بمدرسة لانداو .

ان كثيرا من العلماء البارزين فى الوقت الحاضر سيتذكرون طول حياتهم كيف كانوا يقدمون ذلك الامتحان ...

• • •

ما هى اذن مادة الحد الأدنى النظرى ؟

كانت هذه المادة عبارة عن منهج فى الفيزياء النظرية تم وضعه باختصار صارم وبعد تفكير عميق فى كل التفاصيل ، مع ذكر مراجع متعددة من الكتب والبنود المختارة منها والمقالات المنشورة فى المجلات العلمية .

بعد أن أدرك لانداو أنه يملك موهبة مدرس بارز – وأعتقد أنه لم يكن له



مثيل فى هذا المضمار – وبعد أن أخذت مدرسته تكتسب سمعة فى الأوساط العلمية فى البلاد وخارج حدودها ، نشأت فكرة سرد الفيزياء النظرية على شكل منهج موحد لا يتيح دراسة الحد الأدنى فقط ، بل ودراسة الفيزياء النظرية العصرية عموما وبعمق أكبر .

ان تأليف المنهج الموحد للفيزياء النظرية – ذلك العمل الرائع للأكاديمى ليف لانداو – لم يكمل للأسف وهو على قيد الحياة . غير أن تلاميذه وعلى رأسهم يفجينى ليفشيتس قد واصلوا عمل معلمهم بحيث استطاعوا الحفاظ على ذوق لانداو وأفكاره وأسلوبه المميز ...

• • •

كان لجلسات المناقشة دور كبير جدا فى الحياة والنشاط التربوى لمدرسة لانداو .

فكل خميس فى الساعة الحادية عشرة صباحا كان كبراء الفيزيائيين من جميع معاهد موسكو يجتمعون فى معهد القضايا الفيزيائية لحضور الجلسة ، حيث كان الدخول حرا تماما لا يراقبه أحد .

وكان لانداو يجلس مع أقرب زملائه فى الصف الأول ، وهم الذين يشتركون فى المناقشة أساسا ، أما الجالسون فى بقية الصفوف فيستمعون فقط .

كان التصديق على مواضيع التقارير وعلى أسماء المحاضرين من اختصاص لانداو نفسه . وكانت التقارير كقاعدة مخصصة للمقالات المنشورة فى الأعداد الأخيرة من المجلات العلمية . وكان من واجب كل من يلقى تقريرا أن يشرح صياغة المسألة كما هى عند صاحب المقال موضع المناقشة ، والحل الذى توصل اليه .

وكثيرا ما حدث أن يجىء بعد تقديم صياغة المسألة وسرد النتيجة النهائية ، تصريح من لانداو ينطق به بعد تفكير قصير : « ان هذا المقال شذوذ على شذوذ ولا يستحق ضياع وقتنا » . وبعد ذلك يلغى التقرير بلا رحمة .

كان لهذه المناقشات هدفان : أولهما دراسى ، أى تدريب الفيزيائيين الشباب على صياغة أفكارهم فى ذلك الشكل المنطقى الدقيق الذى سيرضى به لانداو (وهذا كان أمرا صعبا فى حد ذاته) . أما الهدف الثانى فهو علمى ، ذلك أن المناقشات كانت تتيح للانداو ولأقرب زملائه فرصة للتعرف على أحدث ما نشر من أفكار فى المجلات العلمية والحصول على خلاصة هذه الأفكار بعد أن عولجت بشكل يسهّل استيعابها .

وكان لانداو نفسه هو الذى يستفيد أكثر من غيره من نظام المناقشات هذا ...

• • •

كان لانداو قد قضى فترة سفرته الأولى الى الخارج فى كوبنهاجن عند بوهر وفى زوريخ عند باولى وفى كامبردج عند رذرفورد .

وقد تعرفت عليه فى برلين فى أواخر سنة ١٩٢٩ أثناء ندوة مكرسة لمسائل الفيزياء النظرية .

قال لى لانداو متأسفا : « ان كل الفتيات الجميلات قد زوجن .. ومثلهن مثل كل المسائل الفيزيائية الممتعة فقد تم حلها فعلا .. وليس من المحتمل أننى سأجد شيئا جديدا لى بين ما تبقى .. »

لكنه قد وجد أخيرا كل ما كان يحلم به ..

فى يناير عام ١٩٣٠ ، وهو يزور باولى فى زوريخ ، عثر على مسألة تنتمى ، على حد قوله ، الى عداد المسائل الممتعة : مسألة تكمية حركة الالكترونات فى المجال المغنطيسى الثابت . لقد حل هذه المسألة فى الربيع من نفس العام ، عندما كان ينزل ضيفا على رذرفورد فى كامبردج .

منذ ذلك الحين ترسخ موقع لانداو فى صف الفيزيائيين العظماء .. وقد رأى لانداو أنه يستطيع أن يمنح نفسه لقب العالم من الدرجة الثانية وفقا لنظام تصنيف العلماء الذى ابتكره والذى كانت الدرجة الأولى فيه تخصص لكل من

بوهر وشرودنجر وهيزنبرج وديراك ثم ضم اليهم كذلك فيرمى . أما أينشتاين فقد خصص له صاحب التصنيف الدرجة العليا !

لقد تركت المقابلة مع بايرل انطباعا عميقا فى نفس لانداو . وأتذكر أن لانداو حاول مرة اثارة جدال مع بايرل اثناء زيارة الأخير لموسكو .. ولكن بايرل قال له : « لا .. فكر انت بنفسك يا لانداو ! » .

كان هذا مشهدا غير معتاد فى الحقيقة ...

* * *

أظن أنه يمكن تصنيف الأفراد فى ميدان الفيزياء النظرية ، على غرار ما يفعل ذلك فى الموسيقى ، الى أساتذة الأداء وأساتذة التلحين . ونادرا ما تجمع صفات هذين الوجهين من الابداع فى فرد واحد .

ان الفيزيائى « الملحن » ، وهو يبنى نظرية جديدة ، يجب — الى حد ما — أن يقدم على مخاطرة رفض النظام المتناسق الكائن فى اطار المنطق التقليدى المألوف .

فالمنطق المألوف يناقض ، للوهلة الأولى ، تأكيد أينشتاين بأن سرعة الضوء متساوية فى جميع نظم الاسناد ، كما يناقض تأكيد بوهر بأن الالكترون يشع كما من الضوء عند انتقاله من مدار الى آخر ولا يشعه اذ يبقى فى مداره .

غير أنه يجب الاشارة الى أن الحد بين العالم « الملحن » والعالم « أستاذ الأداء » يطمس الى درجة كبيرة عند وصولهما الى « المستوى الأعلى » ، بل يصبح متلاشيا فى بعض الأحيان .

لقد وهب القدر لانداو عقلا قويا ذا جهاز منطقى مدهش يسمح لصاحبه بضبط المتناقضات والنواقص فى أعمال الزملاء لتحقق فورا باختيارها « شذوذا » . ومن ناحية أخرى فان خاصية عقل لانداو هذه كانت تتحول ضده فى بعض الأحيان ، اذ أنه لم يكن يسمح لنفسه أن يخرج عن اطار منطقه الحديدى الصارم .

لذلك كان لانداو من أحسن أساتذة الأداء فى العالم ، وكان فى مقدوره أن يحل أى مسألة تطبيقية اذا كانت قابلة للحل على العموم . ومن خلال ذلك ، وربما لمنطق الابداع ، كان يتحول أحيانا الى « ملحن » ، فلو لا يوجد « نغمة » خاصة به لفلت الحل من يده .

* * *

لماذا اذن كان لانداو يحظى بالحب والاحترام فى أوساط العلم العالمية عامة ؟

أظن أن السبب يكمن فى أن رجال العلوم يتميزون بقدرتهم البالغة على الشعور بالاعجاب فائق ، يخلو من أية آثار الحسد ، تجاه المواهب الحقيقية ...

ان صدق لانداو فى العلم كان عجيبا . ولم يتظاهر أبدا بتفهم سؤال لم يفهمه حتى يتخلص من السائل المزعج بعدة كلمات يلقيها من علاء جبروته الشامخ .

أما عملية معرفته فكانت مذهلة حقا . ففى الوقت الذى بدأ فيه فى الفيزياء النظرية ميل خطير نحو التخصص الضيق — لدرجة أن علماء الجسيمات الأولية يعجزون اليوم عن تفهم زملائهم الخبراء فى نظرية المجال الكمية — فى هذا الوقت كان لانداو متأكدا فى اتقانه مختلف أقسام الفيزياء النظرية مهما كانت متباينة ومتباعدة .

لم تكن الشيخوخة قادرة عليه .. بل ان موهبته كانت تنمو وتتطور بقدر اتساع حجم معارفه فى علم الفيزياء .

صحيح أن رفاقه قد لاحظوا أنه كان أحيانا يتجنب الاجابة عن بعض الأسئلة قائلا : « ان هذا الأمر لا يعنى اطلاقا » . ولكن بعد قليل كان يتضح أنه لم ينس الاسئلة المطروحة عليه ، اذ أنه مثل أستاذ الشطرنج الذى يلاعب عدة أشخاص فى آن واحد كان يستعين بقدرة عقله على التفكير فى عدة مشاكل مختلفة . واذا كان السؤال جديرا بالاهتمام ، كان لانداو ، بعد

مرور فترة ما ، يقول وكأنه قد تذكر الموضوع صدفة : « بالمناسبة .. لقد سألتنى عن الشيء الفلانى ... اذن ... » ويليها شرح واف لجوهر المشكلة .

* * *

أظن أنه يجب كتابة تاريخ حياة لانداو ليشمل كل وجوه نشاطه وقبل كل شيء نشاطه العلمى . أما مجموعة مقالاته العلمية فيحبذ تزويدها بملاحظات مسهبة مفصلة لتسهيل قراءة هذه المقالات ، حتى يستطيع كل طالب أن يستفيد منها استفادة كاملة فى دراسته بدلا من التفرج عليها كأنها تحف من عصر خلا .

المحتويات

الفصل الثالث . مأساة الضوء

الفصل الرابع . افتضاح نسبية الوقت

الفصل الخامس . الساعات والمساطر متقلبة الأطوار

الفصل السادس . الشغل يغير الكتلة





الى القراء الاعزاء

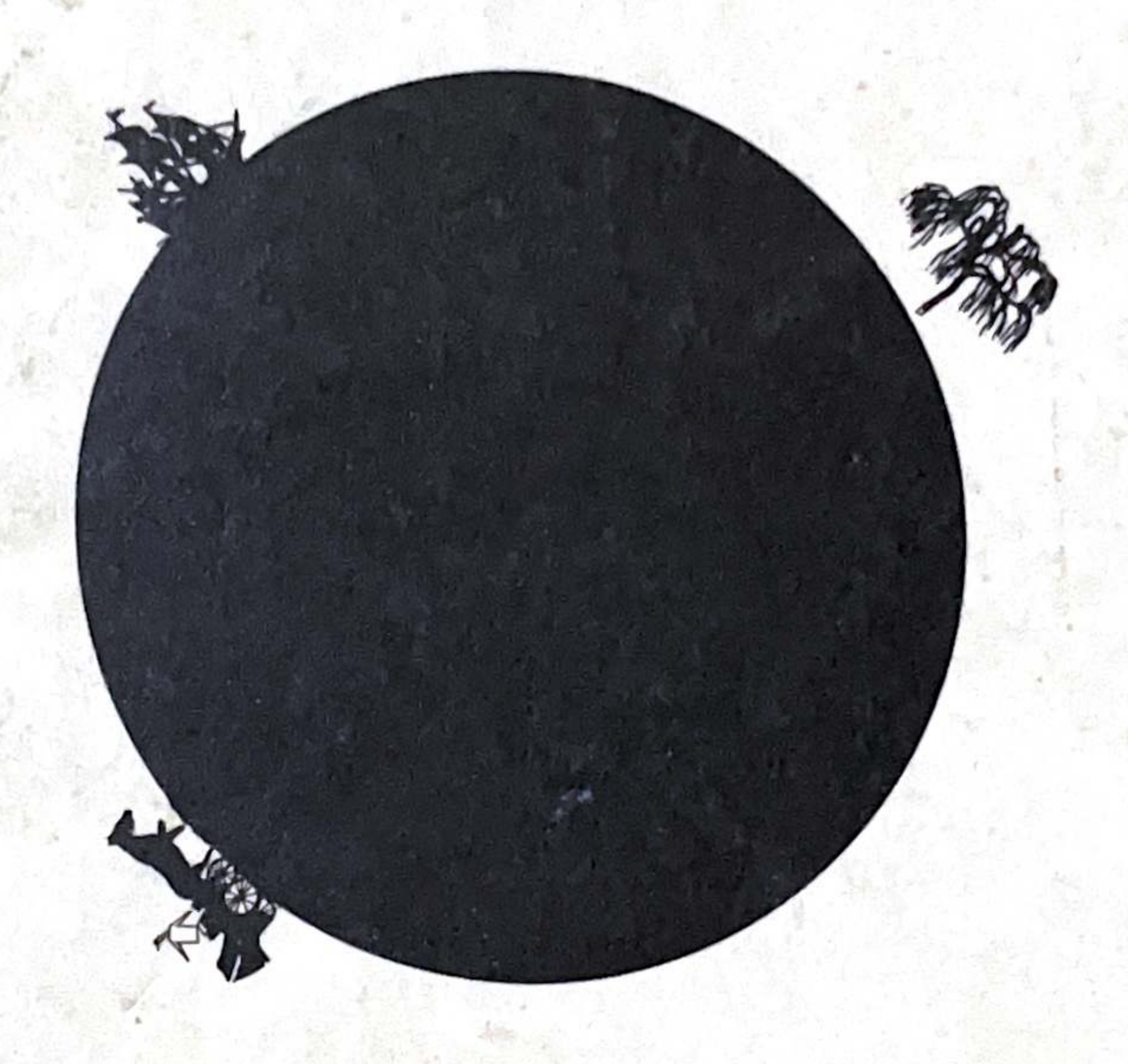
يسر دار «مير» للطباعة والنشر ان تكتبو اليها عن رأيكم فى هذا الكتاب حول مضمونه وترجمته ، اسلوبه وشكل عرضه . وتكون شاكرة لكم لو ابديتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم ، ويسر الدار كذلك ان تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنيكية السوفييتية التى تصدرها والمختارة من أفضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة .

وبامكانكم الحصول على أسمائها من الكاتالوجات التى تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية .

يرجى ارسال الطلبات الى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة «ميجدونارودنايا كنيغا» السوفييتية، موسكو ١١٣٠٩٥ .

عنوان دار «مير»
الاتحاد السوفييتى – موسكو ١١٠
بيرف ريجسكى بيريولوك رقم ٢

في هذا الكتاب :



دار «مير» للطباعة والنشر